

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



Cargill Planta San Rafael (PIPASA).

Estudio de viabilidad y factibilidad ambiental, económica y técnica de la estrategia de descarbonización de Cargill, enfocada en la reducción del gasto en Búnker en el área de calderas, Complejo San Rafael, Costa Rica.

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el título de ingeniería en Mantenimiento Industrial, grado de licenciatura.

José Douglas López Mora.

Cartago, Agosto, 2020

Carrera evaluada y acreditada por:

Canadian Engineering Accreditation Board
Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie



Profesor guía:

Ing. Carlos Piedra Santamaría.

Asesor industrial:

Ing. Ricardo Paniagua Marín.

Tribunal examinador:

Ing. Julio Andrés Morera Hidalgo.

Ing. Rosa María Matarrita Chaves.

Información del Estudiante:

Nombre: José Douglas López Mora.

Cédula: 207460507

Carné estudiantil (TEC): 2013099579.

Dirección de residencia: Piedades Norte, Urbanización Las Lomas, San Ramón, Alajuela.

Número de teléfono: (+506) 8495-3286.

Correo electrónico: jdlopezm95@gmail.com

Información del Proyecto:

Nombre del Proyecto:

Profesor Asesor: Ing. Carlos Piedra Santamaría.

Horario de trabajo del estudiante: Lunes a Viernes de 7:30 am a 5pm.

Información de la Empresa:

Nombre de la Empresa: Complejo de Producción San Rafael, Cargill, Costa Rica.

Actividad Principal:

Dirección: San Rafael, Alajuela. 150 metros Oeste y 150 m Sur de la Cruz Roja de San Rafael de Alajuela.

Contacto: Ing. Ricardo Paniagua Marín.

Teléfono: 2298-1900-1332x0

Correo: Ricardo_Paniagua_Marin@cargill.com

Dedicatoria.

A mi madre Adela, por todo el apoyo que me ha brindado incondicionalmente y por darme la motivación necesaria para superar cualquier adversidad.

A mi hermana Shirley por toda la ayuda, consejos y motivación que me ha brindado, siempre iluminando mis días.

A mi hermana Nathalie por estar siempre pendiente brindándome apoyo incondicional.

A mi padre por enseñarme a superarme día con día.

A todos los profesores del Tecnológico de Costa Rica que han sido parte de mi formación académica, en especial al profesor Ing. Carlos Piedra Santamaría por guiarme con su conocimiento y su paciencia a lo largo de este proyecto y los cursos de carrera.

Al departamento de Ingeniería en Cargill, quienes me han orientado y compartido su conocimiento y amistad.

A todas las personas que de alguna manera han sido parte de mi formación personal y académica.

Agradecimientos.

Al Ingeniero Ricardo Paniagua por darme la oportunidad con la empresa y toda la orientación, guía, apoyo, confianza y conocimiento que me ha brindado. A Edgardo Acuña, Michael Herrera, Jose Espinoza, Nilson Álvarez quienes me estuvieron brindándome todo el apoyo y experiencia sin importar el día y la hora.

A todo el equipo de mantenimiento y operaciones de la empresa que me han brindado guía y apoyo en todo momento para poder desarrollar este proyecto.

A mi tutor académico por siempre motivarme a dar la milla extra en todo momento.

Tabla de contenidos.

Dedicatoria.....	5
Agradecimientos.....	6
Capítulo 1. Introducción.....	12
1.1 Resumen.....	13
Palabras Clave:	14
Abstract.....	15
Keywords.....	16
Misión.....	17
Visión	17
1.2 Reseña de la empresa:	17
1.3 Antecedentes.....	19
1.4 Introducción:.....	21
1.5 Planteamiento del problema	23
Descripción general del proceso productivo del complejo de producción San Rafael. ...	29
1.6 Objetivo General:	30
1.7 Objetivos Específicos:	30
1.8 Justificación:	30
2 Viabilidad:	32
3 Alcance:	33
4 Limitaciones:	34
5 Capítulo 2. Marco Teórico.....	35
5.1 Introducción a los sistemas de generación de vapor.	36
5.2 Conceptos relacionados con las presiones.....	38
5.3 Agua de alimentación de la caldera y sus condensados.	40
5.4 Pérdidas de energía en el sistema de generación de vapor.	47
5.4.1 Sistema de Retorno de condensados y recuperación de Vapor Flash.....	48
5.5 Tecnologías actuales para la recuperación de energía del vapor flash.	50
5.6 Efecto Invernadero.	52
5.7 Indicadores Financieros.....	54
5.7.1 Valor Actual Neto (VAN):	54
5.7.2 Tasa Interna de Retorno (TIR):	55
5.7.3 Retorno de Inversión (ROI):.....	56
6 Capítulo 3. Desarrollo del proyecto.....	57

7 Metodología a seguir:	58
8 Consumos de búnker C y demandas de Vapor en el área de Calderas.	60
8.1 Consumos de Búnker-C en el área de Calderas.....	60
8.2 Demandas de Vapor:	68
8.2.1 Demandas de agua caliente en planta Kimby, planta Pipasa y Escaldadoras de pollo:	75
9 Consideraciones de diseño del sistema de recolección de condensados y tanque flash....	83
10 Descripción de diferentes escenarios para la recuperación de energía contenida en el vapor flash:	84
11 Análisis financiero del proyecto:	87
11.1 Costo estimado en la liberación de vapor flash al ambiente en el sistema de recuperación de condensados actual.....	89
11.2 Ahorro económico debido a la energía recuperada bajo el primer escenario de inversión (Escenario #1).....	95
11.3 Ahorro económico debido a la energía recuperada bajo el segundo escenario de inversión (Escenario #2).....	97
11.4 Ahorro económico debido a la energía recuperada bajo el tercer escenario de inversión (Escenario #3).....	100
11.5 Sección de resumen de los tres escenarios de ahorro energético.	103
11.6 Determinación de los costos de implementación e indicadores financieros relacionados con cada escenario analizado.	104
12 Análisis del impacto ambiental.	107
13 Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones.....	111
14 Conclusiones:	112
15 Referencia Bibliográfica:.....	115

Lista de Figuras.

Figura 1. Logos de algunas de las marcas que se comercializan bajo Cargill.	18
Figura 2. Ubicación del complejo de producción San Rafael	19
Figura 3. Logo de la empresa.	21
Figura 4. Desglose de la composición del complejo de producción San Rafael.	23
Figura 5. Procesos relacionados con la producción de carne de pollo que requieren energía térmica ligada directamente al consumo de Búnker-C en el área de calderas.....	25
Figura 6. Descripción del proceso productivo del complejo de producción San Rafael.	29
Figura 7. Secciones que conforman un sistema de generación y distribución de vapor.	37
Figura 8. Caldera Kawanee clásica 3, de tres pasos de fuego, semejante a la instalada en planta..	38
Figura 9. Manómetro analógico.	40
Figura 10. Nivel de agua recomendado para una caldera pirotubular.	41
Figura 11. Funcionamiento de una trampa de balde invertido.	43
Figura 12. Funcionamiento de la trampa de vapor de flotador y termostática.	45
Figura 13. Diseño y funcionamiento de las trampas de disco controlado..	46
Figura 14. Separador de vapor flash y condensado Spirax Sarco.	47
Figura 16. Acumulación de GEI en la atmosfera hasta el año 2000.	52
Figura 17. Tanque de almacenamiento de Búnker-C ubicado en el suroeste de la planta, con capacidad de almacenamiento de 113 550 litros (30 000 galones)	60
Figura 18. Máximos, mínimos y promedios de consumo mensuales de Búnker-C desde enero 2019 hasta enero	63
Figura 19. Cisterna en posición de descarga de combustible en el área de calderas..	66
Figura 20. Vista en planta del área de Rendering; se identifican numéricamente las cocinas para el cocimiento de harinas, y el tanque de condensadas cocinas Rendering.	69
Figura 21. Desglose de los equipos consumidores de vapor en el área de render en su pico máximo de producción.	71
Figura 22. Perfil de temperaturas en el agua del sistema de lavado de gases de las cocinas medidos durante el 02 de marzo a las 2:42:48 pm al 09 de marzo a las 5:09:43pm.	77
Figura 23. Bombas hidráulicas que abastecen con agua caliente la planta y equipo de escaldado.	79
Figura 24. Tanque de agua caliente horizontal, ubicado al costado Este del cuarto de calderas.	80
Figura 25. Perfiles de presión en la descarga de las bombas de agua caliente que abastecen planta y escaldado del complejo San Rafael.	81
Figura 26. Equipos de render propuestos para recolectar su condensado.	83
Figura 27. Pluma de vapor flash liberado al ambiente actualmente.....	84
Figura 28. Sistema de recolección de condensados actual en el área de render.....	92
Figura 29. Primer escenario de ahorro propuesto, al reestructurar el sistema de recolección de condensados en el área de Render.	96
Figura 30. Sistema de recolección y presurización de vapor flash y el sistema de calentamiento de agua con el vapor flash recolectado de izquierda a derecha respectivamente..	98
Figura 31. Escenario de ahorro #3 al implementar un tanque de recolección de vapor flash, más dos usuarios de baja presión que consuman el vapor flash capturado.	101
Figura 32. Emisiones de Gases de efecto invernadero totales debido a la combustión de búnker en el área de Calderas.....	107

Lista de Tablas.

Tabla 1. Procesos que requieren energía calórica procedente del búnker.	24
Tabla 2. Desglose del consumo teórico de búnker por cada kg de carne de pollo procesado.	25
Tabla 3. Datos de consumo de Búnker-C, agua y producción de vapor de agua anual en el área de calderas.	31
Tabla 4. Base energética teórica para el proceso industrial de pollo Pipasa.	32
Tabla 5. Brecha entre la situación de producción real en función de la energía requerida del Búnker-C y la situación que debería de ser en el proceso de producción de pollo Pipasa.	32
Tabla 6. Parámetros típicos de diseño para las trampas de balde invertido Armstrong International.	44
Tabla 7. Razón de consumo de búnker en los usuarios del área de calderas.	61
Tabla 8. Consumos de búnker y costo estimado según las bitácoras de consumo registradas por los calderistas.	62
Tabla 9. Datos del bunker reportados por RECOPE y el costo promedio por litro estimado.	63
Tabla 10. Datos de costos operativos del sistema de generación de vapor.	64
Tabla 11 Consumos de los usuarios de vapor en el área de Rendering	70
Tabla 12 Consumos pico, nominal y promedio de los cocedores.	72
Tabla 13 Datos de consumo de vapor del área de Render, sin condicionante.	73
Tabla 14 Condiciones de reducción de consumo de vapor en las cocinas de plumas y cárnicos.	74
Tabla 15 Datos de consumo de vapor del área de Render con condicionante de reducción de consumo.	74
Tabla 16. Consumos de agua caliente en el Complejo San Rafael.	78
Tabla 17. Consumos de vapor requeridos para calentar el agua en función de los horarios de producción en planta.	82
Tabla 18. Porcentaje de vapor flash liberado en función del cambio de presión del condensado recuperado.	89
Tabla 19. Propiedades termodinámicas del agua saturada.	90
Tabla 20. Resumen de cálculos del gasto que representa la fuga de vapor flash presente en el sistema de vapor en el área de Rendering. Planta de producción San Rafael (Pipasa).	94
Tabla 21. Tabla resumen de los ahorros en energía y dinero obtenidos a partir del primer escenario de inversión.	97
Tabla 22. Tabla resumen de los ahorros en energía y dinero obtenidos a partir del segundo escenario de inversión.	100
Tabla 23. . Tabla resumen de los ahorros en energía y dinero obtenidos a partir del tercer escenario de inversión.	103
Tabla 24. Resumen de los tres escenarios de inversión con sus respectivos ahorros económicos.	103
Tabla 25. Resumen de los tres escenarios de inversión con sus respectivos ahorros energéticos anuales	103
Tabla 26. Datos de servicios y equipos necesarios para desarrollar el escenario de ahorro #1	104
Tabla 27. Indicadores financieros para el escenario #1.	104
Tabla 28. Datos de servicios y equipos necesarios para desarrollar el escenario de ahorro #2	105
Tabla 29. Indicadores financieros para el escenario #2.	105
Tabla 30. Datos de servicios y equipos necesarios para desarrollar el escenario de ahorro #3.	106
Tabla 31. Indicadores financieros para el escenario #3.	106
Tabla 32. Resumen de los indicadores financieros para cada escenario de ahorro analizado.	106
Tabla 33. Producción de GEI actual en el área de calderas.	108
Tabla 34. GEI emitidos actualmente y GEI calculados bajo el sistema de recuperación de Vapor Flash en el escenario #3.	109
Tabla 35. Resumen comparativo bajo diferentes enfoques para cada escenario de ahorro analizado.	110

Lista de abreviaturas.

BHP: Boiler Horse Power
CM: Condensado de Media Presión
CA: Condensado de Alta Presión
CB: Condensado de baja Presión
CV: Coeficiente de Variación.
E.R.VF.C: Equipo de Recuperación de vapor flash y condensado.
E.R.P: Estación reductora de presión
E.A: Expulsor de gases no condensables.
F.L: Filtro en Línea para vapor tipo Y
KB: Planta de producción Kimby.
NA: No aplica/ No existe
MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía.
PPSR: Planta de producción San Rafael.
Q.V: Quebrador de Vacío
RECOPE: Refinadora Costarricense de Petróleo.
S.CAL.VF.RC: Sistema de Calentamiento de Agua con Vapor Flash y Retorno de condensado.
T.B: Trampa Bomba
T.F: Tanque Flash.
V.G: Válvula de Globo.
V.M: Válvula de Mariposa.
V.C: Válvula de Control.
V.B: Válvula de Bola.



Capítulo 1. Introducción.

1.1 Resumen

Las oportunidades de conservación de la energía en un proceso deben ser analizadas en una etapa previa al desarrollo de la estrategia de aprovechamiento de la energía, para garantizar que las acciones tomadas sean acordes con los objetivos financieros de la empresa, y de esta manera tener claro cuáles son los alcances financieros y ambientales que se proyectan alcanzar con cada estrategia planteada para el aprovechamiento de la conservación de la energía.

El vapor flash que se forma actualmente en el tanque de retorno de condensados de las cocinas marca Anco Tipo Batch 1,5x4,9 m (5'x16') es inevitable, producto de la configuración actual del sistema de recolección de condensados que abastece de energía al proceso de producción de harinas en el área de Rendering.

Se evidencia actualmente en el proceso de recolección de condensados en el área de Render, la despresurización en el condensado pasando desde 741 kPa (7,41 barA) hasta 91 kPa (0,91 barA) lo que provoca que el condensado libere gran parte de su calor latente a la atmósfera, incluso cuando este calor conserva todas las propiedades para ser aprovechado como energía en otros sistemas del proceso de producción del complejo de producción de pollo ubicado en San Rafael de Alajuela.

Esta energía contenida en el vapor flash que actualmente se está liberando al ambiente, abre una oportunidad de aprovechamiento de la energía, al identificar un panorama para la utilización del vapor flash, que puede ser capturado de diferentes maneras variando la configuración del sistema de recolección de condensados actual, mostrando distintos escenarios de aprovechamiento e inversión según sea conveniente y el proceso de producción lo permita, bajo cada escenario de recuperación de energía propuesto, con diferentes alcances ambientales, económicos y necesidades tecnológicas.

Los ahorros energéticos en una planta de producción se traducen a un menor costo de operación por tanto un mayor rendimiento económico de producción, que se ve reflejado en un aumento en la competitividad de los productos procesados, ya que los costos de operación son reducidos al optimizar la gestión de la energía que abastece a cada una de las facilidades necesarias para cumplir con los parámetros de calidad y cantidad demandados por el mercado, y en un sistema de vapor como el instalado en la planta de producción de pollo de San Rafael de Alajuela, que opera con energía extraída de combustibles fósiles, representa

también un beneficio ambiental que ayuda a mitigar la huella ambiental en cada pollo que se procesa.

En un proyecto de recuperación de la energía del vapor flash vale la pena recuperar y aprovechar la mayor cantidad de energía disponible en el sistema, pues esta energía representa un costo económico y un impacto ambiental que puede ser reducido con una adecuada gestión de la energía mediante tecnologías existentes.

Palabras Clave:

Energía, vapor flash, aprovechamiento, ambiente, competitividad, tecnología.

Abstract.

Opportunities for energy conservation in a process, should be taken care at a pre-development stage, of the energy management strategy, to ensure that the energy management strategy taken is in line with the financial objectives of the company, and in this way to have clearings are financial and environmental scopes that are planned to be achieved with each opportunity to take advantage of the energy management.

The flash steam currently formed in the condensate return tank of the Anco Batch Type 1.5x4.9 m (5x16) kitchens is unavoidable, product of the current configuration of the condensate collection system that supplies energy to the flour production process in the Render area.

It is currently evidenced when collecting condensates at Rendering area, suddenly depressurization in condensate, by going from 741 kPa (7.41 barA) to 91 kPa (0.91 barA) which causes condensate to release much of its latent heat into the atmosphere, even when this heat retains all the properties to be used as energy in other systems of the production process of the chicken production complex located in San Rafael de Alajuela.

This energy contained in the flash steam that is currently being released into the environment, opens up an opportunity to take advantage of the energy, by identifying a panorama for the use of flash steam, which can be captured in different ways varying the configuration of the current condensate collection system. By showing different scenarios of utilization and investment as appropriate and the production process allows it to be allowed, under each proposed energy recovery scenario, with different environmental, economic and technological needs.

Energy savings in a production plant, its translated to a lower operating cost, therefore higher economic performance, which is reflected in an increase in the competitiveness of processed products, since operating costs are reduced by optimizing the energy management that supplies each of the facilities necessary to meet the quality and quantity parameters demanded by the market , and in a steam system such as that installed in this poultry

processing plant of San Rafael de Alajuela, which operates with energy extracted from fossil fuels, it also represents an environmental benefit that helps mitigate the environmental footprint on each chicken that is processed.

In a project of recovery of flash steam energy, it is worth recovering and taking advantage of the most energy available in the system, as this energy represents an economic cost and an environmental impact that can be reduced with adequate energy management using existing technologies.

Keywords

Energy, flash steam, use, environment, competitiveness, technology.

Misión

``Crear un valor distintivo``

Visión

Cargill parte de una visión que tiene por objeto unir, desafiar e inspirar todo lo que se realiza en sus instalaciones. Como uno de los mayores compradores mundiales de productos agrícolas, el objetivo de Cargill es ser el líder mundial en la alimentación de las personas. Cargill se compromete a utilizar el liderazgo en el mercado para promover un entorno saludable y un suministro seguro de alimentos para una población en crecimiento y más afluente. Cargill adopta e impulsa la idea que los bosques y la agricultura deben coexistir y ambos son cruciales para la vida en el planeta, manteniendo siempre un enfoque confiable, creativo y emprendedor.

Las medidas de desempeño que se ejecutan en Cargill se basan en los empleados comprometidos, clientes satisfechos, comunidades enriquecidas y crecimiento productivo. (Cargill, 2020)

1.2 Reseña de la empresa:

Cargill es una empresa transnacional que se encuentra en operación desde 1865, inicialmente Cargill era una sencilla planta de almacenamiento de granos, pero con el paso de los años ha instalado operaciones en más de 70 países alrededor del mundo, actualmente cuenta con un total estimado de 155 000 colaboradores que trabajan día con día directamente

con la empresa, convirtiéndose en una de las empresas privadas más grandes del mundo.
(Cargill, 2019)

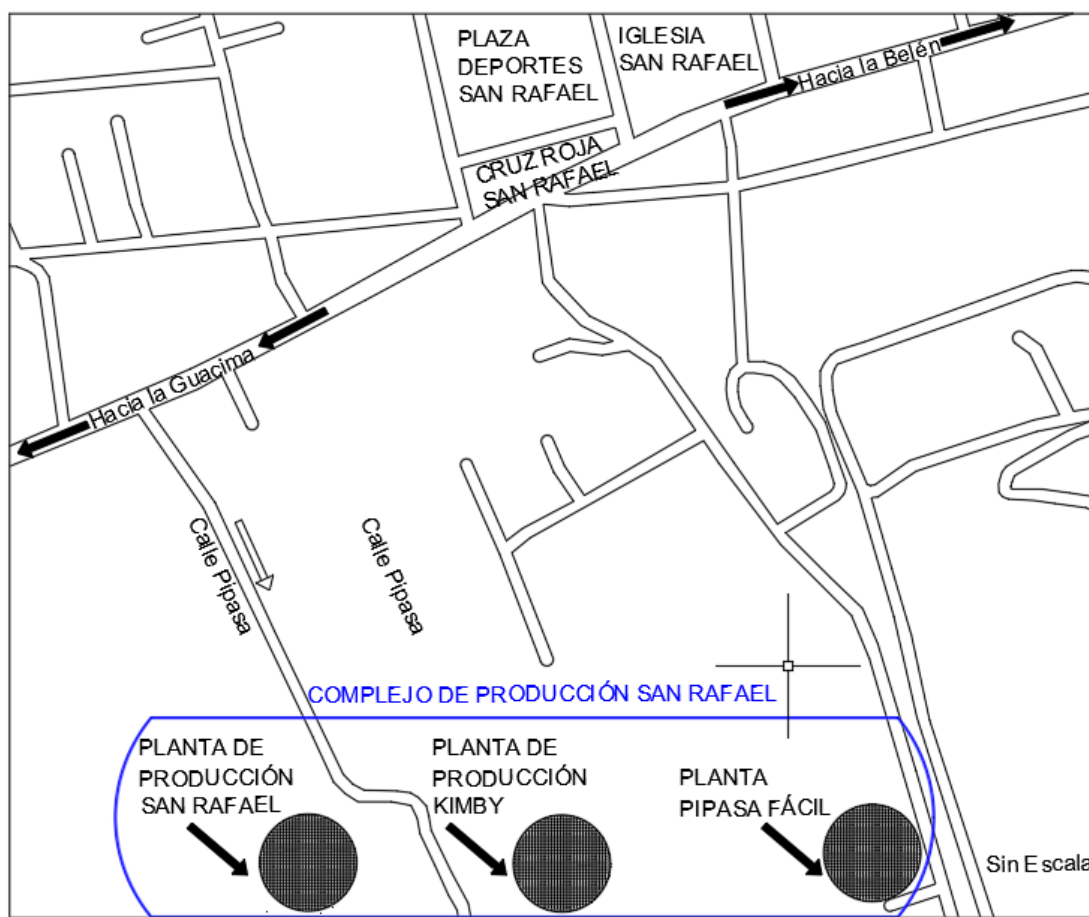
Cargill ha estado operando en Costa Rica desde 1999, adquiriendo la empresa de carnes procesadas Cinta Azul, y en el 2011 aumenta su capacidad comercial con la adquisición de Pipasa. Cargill produce y comercializa pollo y embutidos bajo las marcas Pipasa, Kimby, Zaragoza, Cinta Azul, Premier, Castillo del Roble y Tiquicia, como también nutrición animal y para mascotas Aguilar&Solís, Ascan, Dog Pro, Mimados, Kan-Kan y Don Gato, Bocaditos Astrocan, Dogui y Gati (Presidencia de la Republica de Costa Rica, 2011).



*Figura 1. Logos de algunas de las marcas que se comercializan bajo Cargill.
Fuente: Cargill, 2020.*

El complejo de producción ubicado en San Rafael de Alajuela, Costa Rica, de la iglesia católica 600 metros hacia el Oeste y 300 metros hacia el sur, frente a Importadora Monge, se conoce actualmente como Kimby Pipasa Cargill, este complejo de producción contiene tres plantas (Planta de producción de pollo Pipasa, Planta Kimby y Planta Pipasa Fácil) con

capacidad de distribución y producción de alimentos, logrando conectar a productores agrícolas con los mercados y a los clientes con soluciones sostenibles de nutrición (Cargill, 2020).



*Figura 2. Ubicación del complejo de producción San Rafael
Fuente: Elaboración propia con datos de (GoogleMaps, 2020)*

1.3 Antecedentes.

A lo largo de la historia, se han venido implementando sistemas de gestión ambiental diseñados para integrar los problemas ambientales en los procesos de gestión de una organización, permitiendo controlar el impacto de sus actividades, productos o servicios al medio ambiente, lo que facilita a la organización alcanzar y mantener el cumplimiento de los

requisitos ambientales actuales, gestionar proactivamente los problemas ambientales futuros (WEF, 2017) y alcanzar mejores rendimientos económicos en el desarrollo de sus actividades comerciales.

La política energética de la actual administración del país está guiada por una orientación central que se puede resumir como sostenibilidad energética con un bajo nivel de emisiones (Ministerio de Ambiente y Energía MINAE, 2015), con esto la administración del país, se enfoca en favorecer el equilibrio macroeconómico a partir de reducciones de consumo en la facturación de petróleo y como consecuencia directa, una reducción en la generación de gases de efecto invernadero (GEI).

El complejo de Producción de pollo de Cargill, ubicado en San Rafael de Alajuela, ha registrado consumos de vapor promedio de 4 428 259 kg/mes (9 742 169 lb/mes) con picos de demanda máxima de 4 701 138kg/mes (10 342 503 lb/mes) entre los meses de junio de 2017 a junio de 2018. En ese mismo año se hizo una estimación del consumo promedio energético de la planta Cargill ubicada en San Rafael de Alajuela, y se determinó que el consumo promedio mensual de búnker durante ese periodo fue de 269 144 litros, lo cual emite al ambiente 10 050 toneladas de gases de efecto invernadero durante el año analizado (Romero, 2018).

Por lo cual se ha desarrollado la necesidad de intervenir el sistema de generación de vapor actual para reducir las pérdidas de energía, que se dan durante el proceso, para mejorar su eficiencia, con el fin de reducir los consumos de búnker, mantener la producción de vapor demandada en planta sin afectar negativamente la producción y generar una imagen competitiva amiga del medio ambiente.

1.4 Introducción:

Cargill, tiene como uno de sus compromisos empresariales ayudar al mundo a prosperar, y para ayudar a conservar este compromiso y hacerlo una realidad total, se requiere gestionar adecuadamente la energía requerida en sus plantas alrededor del mundo, evitando los desperdicios de energía y recursos naturales que son necesarios para los procesos de producción y procesamiento de alimentos, utilizando como guía los parámetros establecidos en la norma ISO 50001, condición que genera la necesidad de coordinar adecuadamente los departamentos de producción, administración, calidad y los departamentos de mantenimiento, para considerar todas las necesidades de cada departamento y así definir las intervenciones operacionales de manufactura y producción junto con las intervenciones de mantenimiento preventivo y correctivo en los equipos, para poder optimizar los procesos de producción y mantenimiento con el mejor beneficio económico y ambiental posible, reduciendo las posibilidades de sufrir fallos no programados en los equipos críticos de los procesos de producción, y la posibilidad de que surjan accidentes laborales debido al funcionamiento inadecuado de los sistemas de producción y seguridad electromecánicos.



*Figura 3. Logo de la empresa.
Fuente: Cargill, 2020.*

A nivel industrial las demandas de energía requeridas para completar un proceso de producción son altas, y están en función de los servicios que la industria ofrece al mercado, y la gestión adecuada de los recursos con los que se dispone para operar.

En la planta de producción de pollo Pipasa, ubicada en San Rafael de Alajuela, se cuenta con dos equipos de generación de vapor, los cuales operan con energía obtenida del proceso de combustión de búnker-C (Fuel Oil #6), este combustible fósil de alta viscosidad es derivado de la destilación del petróleo y un emisor considerable de GEI a la atmósfera cuando se combustiona. En el complejo de producción de pollo de San Rafael de Alajuela, el problema inmediato que se ha detectado es la liberación al ambiente de energía calórica en el sistema de vapor que abastece con la facilidad al área de render, que se encarga de producir harinas para consumo animal, esta energía residual liberada al ambiente no está generando ningún aporte que genere beneficios al proceso productivo de la empresa, lo cual abre una excelente oportunidad de mejora en la gestión de la energía obtenida del sistema de generación de vapor, permitiendo disminuir el consumo de búnker presente en el actual sistema de calderas y mitigar las emisiones GEI que se emiten en el área de calderas.

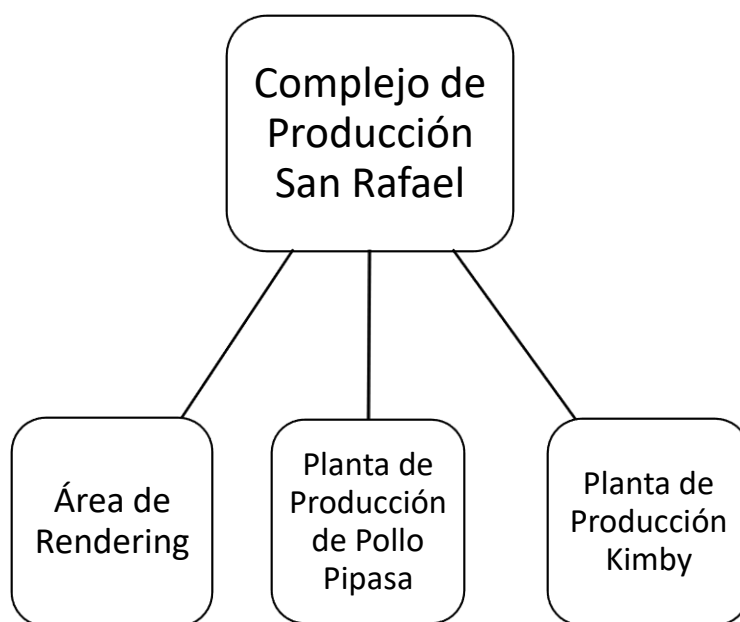
La elevación de la temperatura promedio global es un indicador que recuerda constantemente el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera en el último siglo, si bien en Costa Rica estas emisiones son mínimas en comparación con las emisiones globales totales, el cambio climático no conoce fronteras y es una amenaza latente para la economía actual y la forma de vida en la que se desarrolla la sociedad.

Los sistemas de calderas con los que opera actualmente la planta de producción de pollos Pipasa, y una manera de mitigar los GEI emitidos es recuperar el vapor flash que actualmente

se libera a la atmósfera para procesos que generen alguna utilidad ambiental y económica dentro del proceso de producción sin sacrificar los parámetros de calidad que son exigidos

1.5 Planteamiento del problema

El proceso productivo del complejo San Rafael Cargill, se conforma por tres grandes áreas; planta de Producción de Pollo San Rafael (Pipasa), Planta de Producción Kimby y el área de Rendering.



*Figura 4. Desglose de la composición del complejo de producción San Rafael.
Fuente: Elaboración Propia (Word).*

El proceso desarrollado en la planta de producción de pollo San Rafael se encarga de preparar el pollo/ave que viene de las granjas, en pollos enteros o piezas de pollo para ser comercializadas bajo la marca Pipasa, en la planta de producción Kimby, se procesan algunas de las piezas de pollo obtenidas del proceso de producción de pollo San Rafael para producir embutidos, preformados y marinados de pollo que se comercializan bajo la marca Kimby, y

el proceso desarrollado en el área de Rendering, se resume en producir harinas y aceites de pollo/ave, utilizando vapor vivo para calentar, cocinar y secar la materia prima (vísceras, plumas, sangre, huesos) requerida en este proceso. Las tres áreas de producción mencionadas, requieren energía térmica en alguna parte del proceso de producción como se muestra en la Tabla 1.

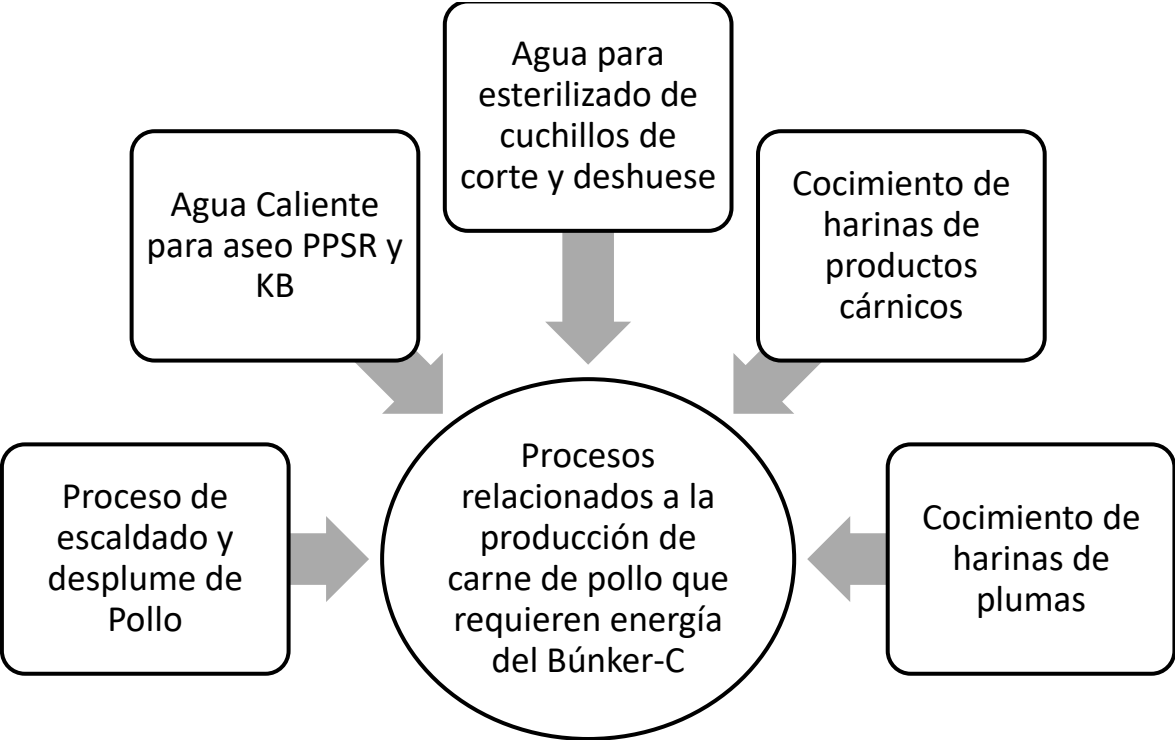
Tabla 1. Procesos que requieren energía calórica procedente del búnker.

Área.	PPSR.	KB.	Rendering.
Proceso que requiere energía del Búnker según el área.	Agua Caliente para aseo PPSR.	Agua Caliente para aseo KB.	Producción de harinas de Cárnicos.
	Agua Caliente para escaldado de pollo.	NA	Producción de harinas de Plumas.
	Agua Caliente para esterilizadores	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Este vapor vivo es generado por medio de un sistema de calderas que extrae la energía térmica requerida del combustible búnker. En este proceso de producción, que se desarrolla en el área de Rendering al requerir vapor vivo en los equipos de procesamiento de harinas y aceites de pollo/ave, genera condensados con contenido energético aprovechable, el cual es capturado en un tanque de retorno de condensados ubicado cerca de las cocinas de cocción de vísceras y plumas, este tanque de condensados está actualmente configurado de tal manera que libera a la atmósfera una pluma de vapor flash que contiene el 13,3% del total del condensado capturado, abriendo una oportunidad de recuperación de energía y agua liberada al ambiente en forma de vapor flash, ya que actualmente esta energía y agua liberada a la atmósfera no está siendo aprovechada de ninguna manera en el proceso productivo del

complejo San Rafael, y mediante datos experimentales se determina que para el periodo de producción analizado desde enero de 2019 hasta diciembre de 2019, fueron necesarios 28,84 ml de búnker por cada kilogramo de pollo/ave procesada en la planta de producción de pollo San Rafael, estos 28,84ml de búnker representan el consumo de búnker que se requiere para procesar un kilogramo de carne de pollo, que se ve desglosado de la siguiente manera:



*Figura 5. Procesos relacionados con la producción de carne de pollo que requieren energía térmica ligada directamente al consumo de Búnker-C en el área de calderas.
Fuente: Elaboración Propia*

Ahora bien, el consumo teórico para producir un kilogramo de carne de pollo, se desglosa en la Tabla 2.

Tabla 2. Desglose del consumo teórico de búnker por cada kg de carne de pollo procesado.

Consumo teórico de búnker por kg de carne de pollo procesado.		
Descripción.	Datos.	Unidades.
Proceso de escaldado de pollo.	5,19	ml búnker/kg pollo
Cocimiento harinas cárnicos.	2,23	ml búnker/kg pollo
Cocimiento de harinas Plumas.	0,67	ml búnker/kg pollo
Agua caliente para aseo PPSR y KB	5,82	ml búnker/kg pollo
Agua caliente esterilizado.	0,12	ml búnker/kg pollo
Pérdidas (1%)	0,14	ml búnker/kg pollo
Total	14,17	ml búnker/kg pollo

Fuente: Elaboración propia (Excel).

El consumo teórico de búnker es de 14,17 ml de búnker por cada kilogramo de carne de pollo procesado, abriendo una brecha de 14,67 ml entre el consumo actual y el consumo ideal reflejado en el consumo de búnker por cada kilogramo de carne de pollo procesada.

Si se logra capturar y aprovechar la energía contenida en el vapor flash liberado a la atmósfera en el tanque de recolección de condensados ubicado junto a las cocinas de vísceras y plumas, se puede lograr una reducción del gasto de búnker por cada kilogramo de pollo procesado, esto debido a la reducción de consumo de vapor vivo, y consecuentemente una reducción del consumo de búnker, que reflejaría un ahorro en el gasto en búnker diario y mensual obtenido en el complejo de producción San Rafael, este ahorro de combustible fósil reflejará una disminución de la huella de carbono provocada en el área de calderas y a su vez mejorará el rendimiento energético del sistema de vapor actual.

Sin embargo es necesario analizar diferentes estrategias de descarbonización en el área de calderas, abarcando el retorno de condensados del área de Rendering, de tal forma que se logren determinar diferentes alcances ambientales y económicos con diferentes requerimientos tecnológicos en la implementación del proyecto de recuperación de energía y agua disponible en el vapor flash que se libera en el tanque de condensados ubicado junto a las cocinas de vísceras y plumas del área de Rendering, esto con el fin de elegir la estrategia

de inversión que mejor se adapte a los alcances ambientales, económicos y tecnológicos que se esperan lograr en función del beneficio que aporta cada estrategia.

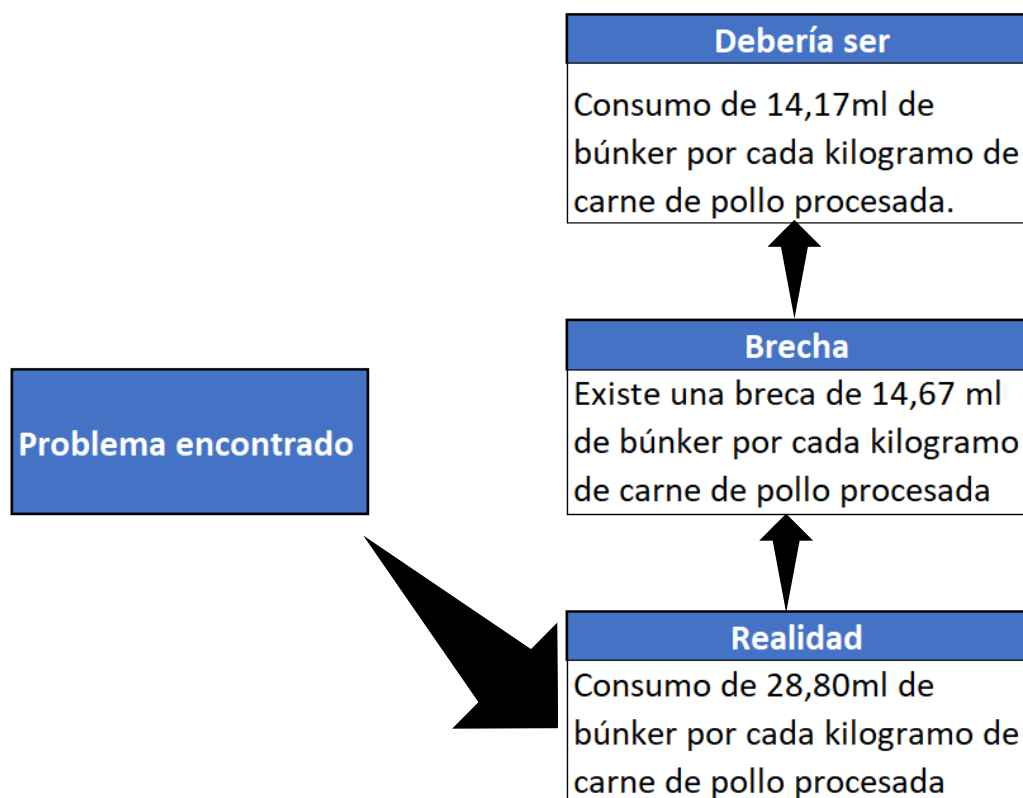


Figura 4. Esquema de desviación entre la realidad operativa y lo que debería ser del sistema de recolección de vapor flash y condensados.

Fuente: Elaboración propia (Excel).

Actualmente la empresa cuenta con dos sistemas de calderas, cada uno de ellos con capacidades diferentes de producción de vapor, el primero es un sistema del fabricante Kewanee Boilers, en configuración de tres pasos con capacidad máxima de producción de vapor de 7700 kg/h (500 BHP) y el segundo sistema es del fabricante Cleaver Brooks, con una configuración de cuatro pasos con espalda húmeda y una capacidad máxima de producción de vapor de 5400 kg/h (350 BHP), ambos operan a la misma presión, bajo

condiciones normales de demanda ambas operan a 695 kPa (100 psiG). El primer sistema entra en operación en horarios cuando el segundo no logra abastecer la demanda requerida en el área de Rendering. Para efectos de este proyecto el sector de Pipasa fácil, el cual es parte del complejo de producción de pollo en San Rafael, queda fuera del alcance, pues este último sector mencionado no cuenta con demanda de vapor para su proceso productivo, por lo cual este proyecto se desarrolla en función de las demandas de vapor para proceso y para agua caliente que abastecen planta Kimby, planta de producción San Rafael (Pollo Pipasa) y el área de Rendering. Las demandas de vapor analizadas en este proyecto incluyen los requerimientos de vapor vivo en la planta y las demandas de agua caliente ya que, debido a la configuración del sistema de generación de agua caliente, la energía requerida para calentar agua es tomada del vapor mediante intercambiadores de calor de contacto directo y contacto indirecto según sea la ubicación del sistema y sus características de operación.

En Cargill el consumo de búnker-C para generar vapor es elevado, por lo cual representa un gasto significativo en combustible fósil (En promedio: 58,8 millones de colones por mes durante el 2019), afectando directamente a las emisiones GEI que produce la empresa, siendo necesario reducir estas emisiones mediante un conjunto de técnicas de intervención que permitan recuperar la energía que actualmente no se logra aprovechar de manera eficiente durante el proceso, tal como las pérdidas de vapor flash que se dan en el proceso de renderizado, lo que permite investigar las diferentes oportunidades de aprovechamiento de la energía, con el fin de optimizar el recurso energético necesario para la producción de vapor en el área de calderas, que se vea reflejado en un ahorro económico y ambiental para la empresa.

Descripción general del proceso productivo del complejo de producción San Rafael.

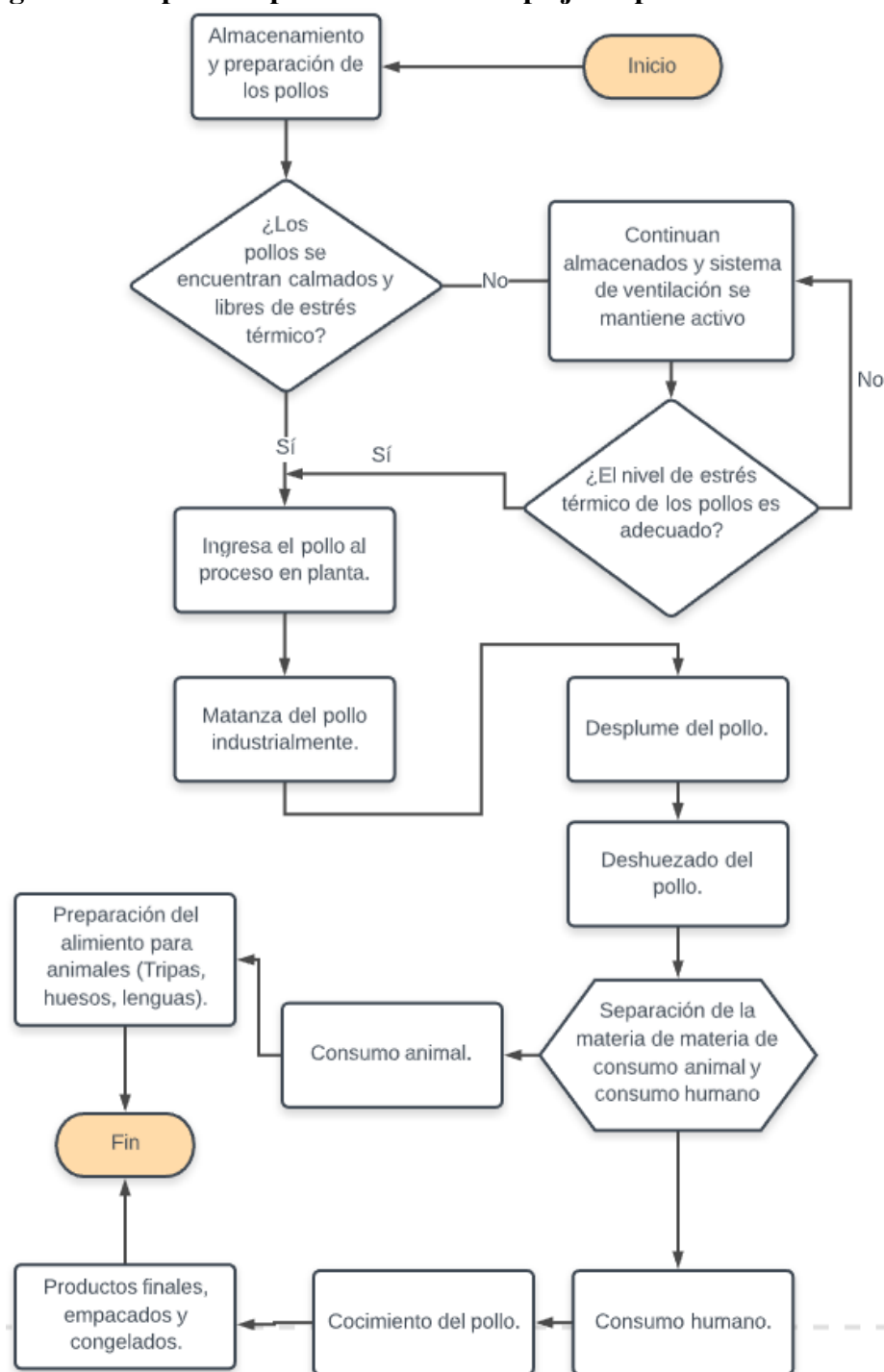


Figura 6. Descripción del proceso productivo del complejo de producción San Rafael.
Fuente: Elaboración propia.

1.6 Objetivo General:

- Analizar la viabilidad y factibilidad de las estrategias de captación y aprovechamiento de la energía disponible en el vapor flash liberado a la atmósfera, mediante indicadores financieros, ambientales y disponibilidad tecnológica en el área de Rendering en el complejo de producción San Rafael.

1.7 Objetivos Específicos:

- Analizar las diferentes estrategias de captura y aprovechamiento de la energía disponible en el vapor flash, mediante un balance de energético.
- Evaluar las proyecciones económicas alcanzadas para cada estrategia de aprovechamiento de la energía mediante indicadores financieros VAN, TIR, ROI.
- Verificar la reducción de emisiones GEI mensuales y anuales estimadas para cada estrategia de captura y aprovechamiento de la energía disponible en el vapor flash mediante indicadores ambientales (Ton CO₂ e/año).
- Proponer la estrategia de captura y aprovechamiento de la energía y agua disponible en el vapor flash mediante una comparación de ventajas y desventajas que se adecuen a las necesidades de la planta

1.8 Justificación:

La actividad agrícola genera cantidades considerables de emisiones de gases de efecto invernadero, que contribuyen en gran medida al calentamiento global y como consecuencia al cambio climático, por lo cual lo que se busca es reducir de manera sostenible las emisiones GEI y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos energéticos, reduciendo costos económicos sin afectar negativamente el proceso de producción de la planta.

Los costos ambientales de la energía proveniente de los hidrocarburos son elevados, debido a los altos factores de emisiones de gases con potencial para provocar el calentamiento global, los cuales se deben medir por la Convención de Cambio Climático (UNFCCC) (MINAE, 2018). Esto se debe al alto contenido de azufre en los destilados del petróleo, en especial en el combustible Búnker-C que se comercializa a nivel país, mediante RECOPE (Refinadora Costarricense de Petróleo).

Como parte del compromiso de la empresa para mantenerse líder en nutrir al mundo en forma segura, responsable y sostenible, Cargill fortalece su compromiso con la meta de carbono neutral del gobierno de Costa Rica, y es por eso que busca reducir sus emisiones de GEI que se emiten hacia la atmosfera en PPSR.

PPSR registra consumos de Búnker C en el área de calderas de 2 874 143,54 litros de este hidrocarburo por año, lo cual representa un costo económico facturado de 763 822 557,3 colones por año (1,34 millones de dólares por año), por esta razón una mejora en el sistema de generación de vapor quien es el único usuario de búnker en la planta puede significar un ahorro significativo diario, mensual y anual.

Tabla 3. Datos de consumo de Búnker-C, agua y producción de vapor de agua anual en el área de calderas.

Datos volumétricos relacionados al vapor en PPSR.		
Consumo Anual Búnker	2 874 143,54	litros/año
Consumo Anual Agua	41 334,32	m3/año
Producción Anual Vapor	41 751,83	Ton/año

Fuente: Generación propia (Excel)

Ahora bien, basándonos en una base teórica de consumos volumétricos de búnker por cada kilogramo de pollo procesado, se deben registrar los siguientes rendimientos de producción.

Tabla 4. Base energética teórica para el proceso industrial de pollo Pipasa.

Base Energética Teórica.									
Escaldado		Harinas Cárnicas		Harinas Plumas		Agua Aseo		Agua Esterilizado	
Datos	Unidades	Datos	Unidades	Datos	Unidades	Datos	Unidades	Datos	Unidades
217,75	kJ/kg pollo	499,3800	kJ/kg harinaC	600,12	kJ/kg harinaP	188,19	kJ/litro Agua A	271,83	kJ/litro Agua Est.
0,0052	litros/kg pollo	0,0119	l/kg harinaC	0,0143	l/kg harinaP	0,0045	l/litro Agua A	0,0065	l/litro Agua Est.
5,19	ml Búnker/ kg pollo	11,8932	ml Búnker/kg harinaC	14,29	ml Búnker/kg harinaP	4,48	ml Búnker/litro Agua A	6,47	ml Búnker/litro Agua Est.

Fuente: Elaboración propia (Excel)

Dando una brecha entre la operación teórica y la operación real desempeñada en PPSR como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 5. Brecha entre la situación de producción real en función de la energía requerida del Búnker-C y la situación que debería de ser en el proceso de producción de pollo Pipasa.

Descripción	Valor	Unidades
Indicador actual de gasto en litros de búnker por kg pollo procesado	28,84	ml/kg
Indicador teórico de gasto en litros de búnker por kg pollo procesado	14,17	ml/kg
Brecha entre la realidad y lo que debería ser	14,67	ml/kg

Fuente: Elaboración propia con datos de Cargill, 2020.

Viabilidad:

Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA), para el 2035 el 30% del consumo energético en el mundo será proveniente de energías renovables. Por lo cual es necesario enfocarse no solo en tecnologías de sustitución de equipos que

requieren energía convencional, si no también buscar mejoras en la eficiencia energética de los sistemas que requieren energías convencionales para su operación, pues este sector seguirá representando un 70% del consumo energético. (García, 2017).

Para elaborar este proyecto la empresa facilita recursos valiosos que permiten desarrollar una investigación de calidad y provecho.

El acceso a la información es importante en un proyecto como este, pues es necesario conocer y entender el proceso de producción para el que se le facilita vapor mediante el sistema de calderas con el que cuenta actualmente la planta de producción Cargill ubicada en San Rafael de Alajuela, algunos datos ya son conocidos dentro del sistema de información del sistema de gestión de mantenimiento de la planta, producto de los controles de eficiencia de los equipos e indicadores de operación que se mantienen dentro del proceso de producción.

Alcance:

El alcance de este proyecto se enfoca en reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero que se producen en la combustión del búnker, además de obtener beneficios al implementar tecnologías que permitan asegurar el patrimonio de la empresa y garantizar una mejora en la eficiencia del sistema global de generación de vapor.

Además, se busca una manera de hacer más eficiente el proceso de distribución del vapor del sistema, al implementar tecnologías que permitan aprovechar el vapor flash que actualmente está siendo liberado a la atmósfera sin antes aportar ningún beneficio en el proceso de producción de la empresa.

Limitaciones:

Analizar el consumo de vapor para cada ramal en función de las horas de uso de los equipos que consumen vapor puede resultar poco preciso si no se tienen bien definidos los horarios de uso, y encontrar un punto de equilibrio entre la implementación de generadores de vapor eléctricos y sus capacidades nominales de producción que abastecen a cada ramal de manera adecuada requieren de métodos de análisis de consumos de vapor basados en los consumos teóricos de los equipos que se registran en los datos de placa, los cuales pueden variar con respecto a los consumos reales de los equipos.

Debido al ciclo de operación de la planta ubicada en San Rafael de Alajuela, no es posible hacer un manejo de carga eléctrica en función del tiempo, pues es difícil realizar una distribución horaria de las cargas demandadas energéticamente sin afectar la producción.



Capítulo 2. Marco Teórico

5.1 Introducción a los sistemas de generación de vapor.

El vapor es un gas invisible que se genera cuando se le añade energía calorífica al agua en una caldera, siendo el vapor de agua un vehículo para transferir calor en forma bastante eficiente y fácil de controlar. (Armstrong International, 2011). Debido a las propiedades termodinámicas, el calor fluye desde un punto de alta temperatura hacia un punto de menor temperatura, siendo esto conocido como transferencia de calor, concepto que se aprovecha en el sistema de generación de vapor desde la cámara de combustión en la caldera.

Los sistemas de vapor están conformados principalmente por cuatro secciones de operación, que en conjunto forman un ciclo. La primera sección se encarga de la generación de vapor, la cual consiste en aplicarle calor al agua de alimentación de la caldera (Make-Up Water) para elevar su temperatura hasta la presión de vapor deseada. La segunda sección se enfoca en la distribución de vapor, mediante ramales y cabezales de distribución, que permiten abastecer de la facilidad de vapor a los diferentes usuarios. La tercera sección que conforma los sistemas de vapor está basada en la transferencia de calor y su aprovechamiento práctico en procesos de producción o aprovechamiento para generar energía mecánica a partir de la energía contenida en el vapor, y por último pero no menos importante la cuarta etapa se encarga de recolectar el condensado obtenido a partir del aprovechamiento del vapor en los usuarios y retornarlo a la primera sección de operación, permitiendo mantener un ciclo cerrado de operación. (Armstrong International, 2011).

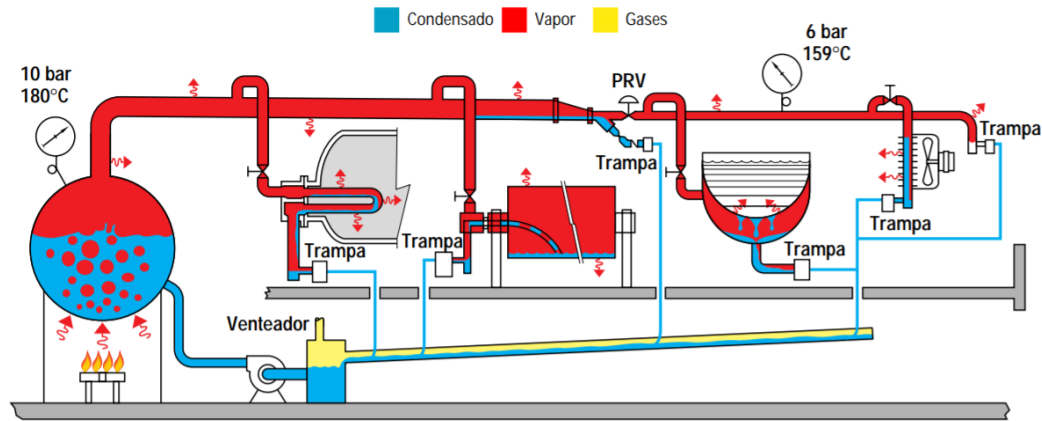


Figura 7. Secciones que conforman un sistema de generación y distribución de vapor.
Fuente: Armstrong International, 2011.

El vapor es usado en muchas aplicaciones industriales, aprovechando su capacidad de transportar energía y poder ser utilizado como un fluido para el intercambio de energía en algún proceso industrial, pues el agua necesaria para producir vapor es de fácil acceso y resulta práctico utilizar el agua convertida en vapor para transferir y distribuir energía calórica mediante un sistema de tuberías aislado que comunique el sistema de generación de vapor, con el sistema que consume el vapor de forma eficiente. (Dr Lal Jayamaha, 2016).

Una caldera o un generador de vapor, como también se le conoce, es un recipiente cerrado donde el agua, estando presurizada, es transformada en vapor debido a una aplicación de calor intensiva, es necesario recalcar que aquellos recipientes que evaporen agua a presiones iguales a la atmosférica no se consideran como una caldera.



Figura 8. Caldera Kawanee clásica 3, de tres pasos de fuego, semejante a la instalada en planta.

Fuente: Kawanee Boiler, 2019.

En el proceso de generación del vapor dentro de la caldera se separa físicamente el agua del vapor al cambiar sus densidades, por efectos de boyancia térmica y efectos gravitatorios, sin embargo, esto no resulta práctico para los sistemas de vapor que demandan las industrias actuales, por lo que se requiere instalar separadores de vapor y agua mecánicos para proveer de manera económica vapor libre de agua o lo que se conoce también como vapor vivo o seco. (Woodruff & Lammers, 2017).

5.2 Conceptos relacionados con las presiones.

- **Presión absoluta:** La presión absoluta es la presión medida con respecto al vacío perfecto (0 Pa). Las unidades utilizadas para medir presiones bajo el Sistema Internacional (SI) es el Pascal (Pa) equivalente a un newton por metro cuadrado (N/m^2), y las unidades en el sistema inglés utilizadas para medir presión son psi que corresponden a libras por pulgadas cuadradas según sus iniciales en inglés, también

es frecuente el uso en el sistema inglés unidades barométricas o Bar, siendo equivalente entre unidades $1\text{Pa} = 0,000145038\text{ psi}$, o bien $1\text{bar} = 14,7\text{ psi}$. La presión absoluta suele abreviarse por abs, para ser identificada correctamente y evitar errores en la lectura e interpretación de los datos.

- **Presión relativa o presión manométrica:** También abreviada como P_e , la cual corresponde a la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica, comúnmente utilizada en los equipos y medida con dispositivos mecánicos o digitales conocidos como manómetros.
- **Presión atmosférica estándar:** La presión atmosférica estándar corresponde al peso correspondiente a la masa de aire que rodea la tierra hasta una altura aproximada de 500km, siendo que los valores de mediciones de presión estándar se realizan a nivel del mar y tiene un valor definido de $101,325\text{kPa}$
- **Presión atmosférica local:** Es la medida de la presión atmosférica registrada en un sitio con una altura diferente a la del nivel de mar, siendo que a mayor altura terrenal se tiene menor presión atmosférica, pues la masa de aire que se encuentra sobre el sitio es menor, resultando en una menor medida de presión atmosférica local.

Presión diferencial: Es una presión de referencia que permite dar numéricamente la diferencia de presiones entre un punto y otro.

- **Presión de vacío:** También conocida como presión negativa, el nombre que se le asigna cuando la presión relativa es inferior a la presión atmosférica, resultando las restas en presiones negativas o de vacío.

- **Presiones parciales:** La ley de presión parcial de Dalton indica que la presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de presiones parciales de los gases que componen la mezcla, siendo que $P_{total} = P_{gas1} + P_{gas2} + P_{gas3} + P_{gasN}$

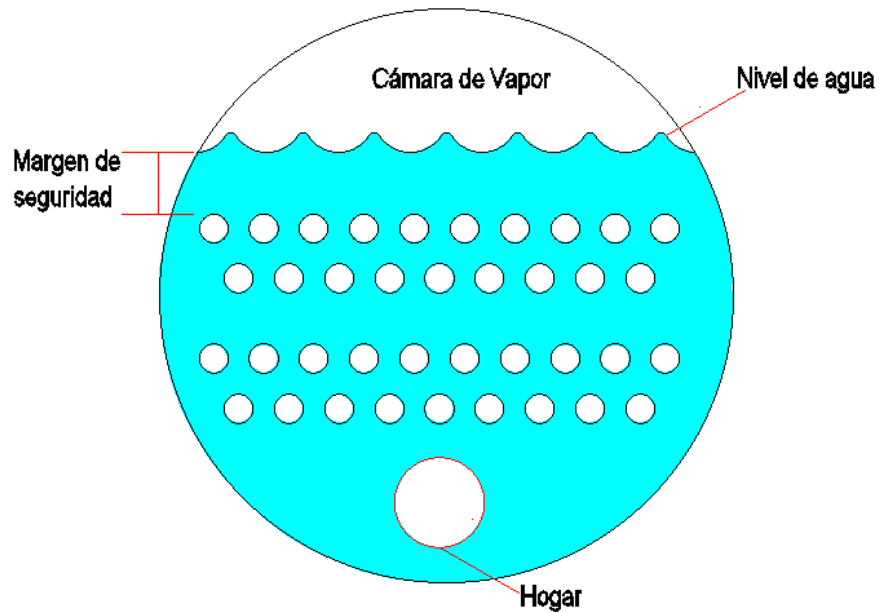


*Figura 9. Manómetro analógico
Fugura: Spirax Sarco, 2019.*

5.3 Agua de alimentación de la caldera y sus condensados.

- **Sistema de bombeo de agua de alimentación de la caldera (Make-Up Water)**

Desempeña un papel importante para el correcto funcionamiento de los generadores de vapor, pues en caso de un nivel bajo de agua dentro de la cámara de vapor, existe la alta probabilidad de un accidente por explosión debido a un descuido en el control de nivel de agua.



*Figura 10. Nivel de agua recomendado para una caldera pirotubular.
Fuente: Elaboración propia con AutoCAD 2018, 2020.*

El sistema de bombeo para las calderas se da principalmente mediante tres tipos de bombas.

Las bombas verticales centrífugas tienen como ventaja, una sencilla construcción, resultando en mayor fiabilidad de operación, además son pequeñas, resultando cómodas en instalaciones con espacios reducidos, sin embargo, como parte de las desventajas este tipo de bombas suele ser menos robusta en comparación las bombas modulares u horizontales. Las bombas modulares horizontales, tienen como ventaja una mayor robustez, y soportan trabajar a mayores temperaturas, sin embargo, requieren de mayor espacio para su operación ya que suelen ser equipos de mayor volumen. Las bombas de pistones o bombas reciprocantes como ventaja pueden operar con fluidos viscosos y densos, además de poder elevar la presión de manera más eficiente que las dos bombas anteriores, sin embargo, su mantenimiento resulta más costoso, ya que sus componentes están expuestos a mayores desgastes.

- **Sistema de retorno de condensados:** Los sistemas de retornos de condensados permiten capturar y volver a utilizar el agua aprovechando el calor sensible remanente después de haber sido extraído su calor latente en el proceso de transferencia de calor en el cual está siendo aprovechado el vapor vivo. Este proceso de captura se logra debido a la instalación de trampas de vapor que permiten sacar el condensado, aire y CO₂ del sistema de distribución de vapor lo más rápido que sea posible, ya que la acumulación de líquido condensado dentro de las líneas de distribución de vapor, pueden ocasionar problemas de desgaste mecánico prematuro, golpes de ariete y reducción de la eficiencia térmica, ya que el líquido y el vapor presentan velocidades diferentes de transporte y temperaturas también diferentes que pueden dar pie a un choque térmico súbito que desencadena un golpe de ariete. Las trampas de vapor suelen clasificarse según su principio de operación, ya sea trampas de balde invertido, termostáticas, de flotador, y de disco controlado. Cada una de ellas con sus ventajas y desventajas operativas.

Las trampas de vapor de balde invertido es una trampa mecánica que opera basada en la diferencia de densidades entre el vapor y el agua, pues el vapor entra al balde invertido y sumergido y provoca que este elemento flote, y cierre la válvula de descarga, y cuando entra condensado a la trampa, este balde se vuelve más pesado, haciendo que la trampa se abra y descargue el condensado, al mismo tiempo que ventea los gases no condensables.

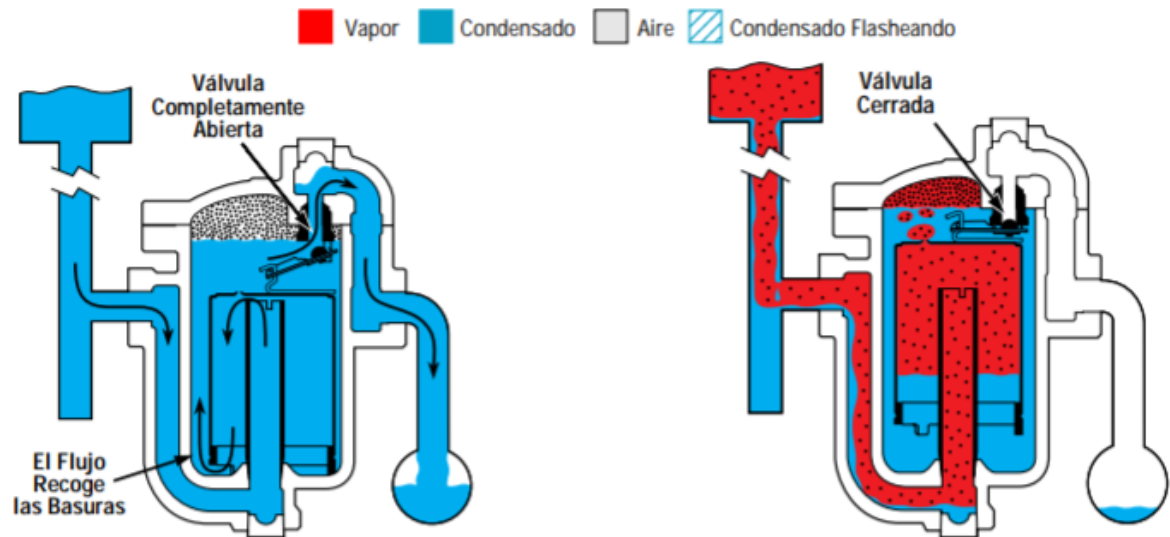


Figura 11. Funcionamiento de una trampa de balde invertido.
Fuente: Armstrong International, 2011.

Estas trampas de balde invertido pueden encontrarse bajo diferentes materiales de construcción según sus diferentes aplicaciones de presiones, caudales y temperaturas bajo las cuales deben operar. Las trampas de balde invertido que están construidas completamente en acero inoxidable tienen la particularidad de ser capaces de soportar congelamiento sin sufrir ningún daño, por lo cual pueden ser instaladas en venas de vapor colectoras instaladas a la intemperie, donde pueda existir congelamiento, para operaciones hasta 45 bar y temperaturas de hasta 345°C.

Las trampas de vapor de hierro fundido, es una trampa estándar para uso general, con capacidad de operar hasta a 17 bar de presión manométrica, y temperaturas de hasta 232°C, pueden ser encontradas bajo diferentes configuraciones de conexiones laterales, con filtro integrado, y conexión tipo entrada abajo y salida arriba.

Para aplicaciones de alta presión y temperatura, se recomienda utilizar trampas construidas en acero forjado, ya son diseñadas para aplicaciones de vapor sobrecalentado, llegando a 180 bar de presión y 560°C.

Y por último las trampas de acero inoxidable fundido son ideales en aplicaciones de alta capacidad y bajo condiciones corrosivas, con presiones operativas de hasta 47 bar y temperaturas de 262°C.

Tabla 6. Parámetros típicos de diseño para las trampas de balde invertido Armstrong International.

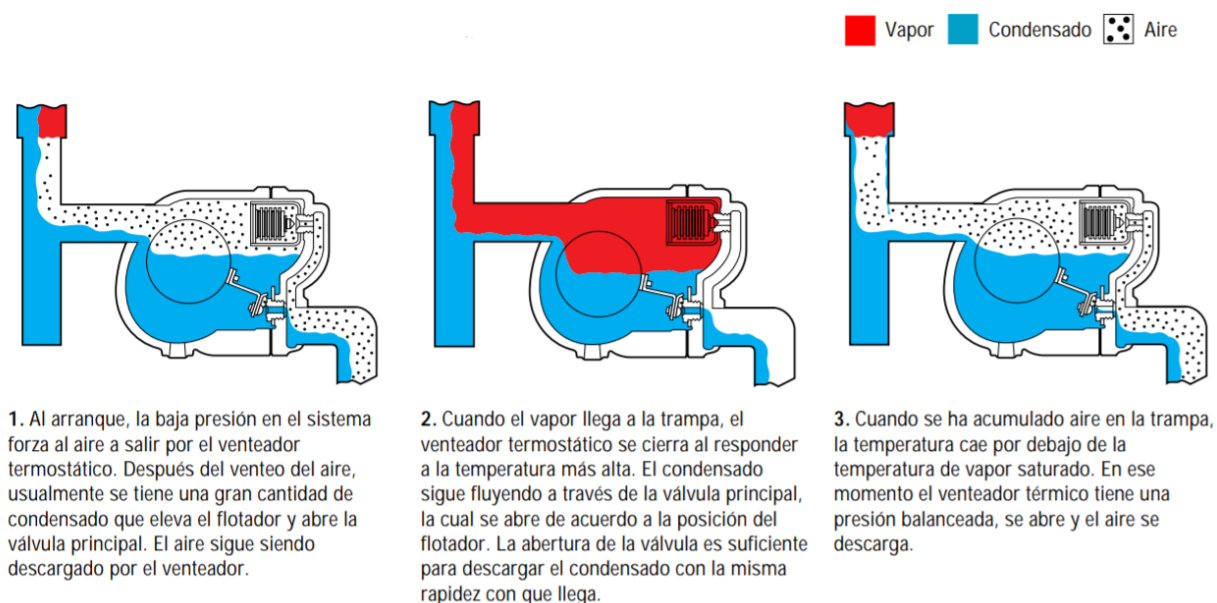
	Hierro Fundido	Acero Inoxidable Estirado	Acero Forjado	Acero Fundido	Acero Inoxidable Fundido
Conexiones (pulgadas) (mm)	½" a 2 ½" 15-65	3/8" a 1" 10-25	½" a 2" 15-50	½" a 1" 15-25	½" a 2" 15-50
Tipo de Conexiones	Roscada	Roscada, Soldada a tope, a presión	Roscada, Soldada a tope, bridada	Roscada, Soldada a tope, bridada	Roscada, Soldada a tope, bridada
Presión de Operación (kPa)	0 a 170	0 a 450	0 a 1 860	0 a 410	0 a 470
Capacidad (kg/h)	Hasta 9 091	Hasta 2 000	Hasta 8 636	Hasta 2 000	Hasta 8 636

Fuente: Traducción de (Armstrong International, 2011).

Las trampas de vapor de flotador y termostática es una trampa mecánica que opera en base a los conceptos de densidad y temperatura. La válvula flotadora opera basada en el concepto de densidades mediante una palanca que conecta la bola del flotador a la válvula y su asiento. El flotador se eleva una vez que el condensado llega hasta cierto nivel en la trampa, abriendo el orificio de la válvula y drenando el condensado. Pero debido a que su válvula de descarga se encuentra bajo agua, resulta imposible que este tipo de trampas venteen el aire y los gases no condensables, por lo cual cuando la acumulación de aire y gases

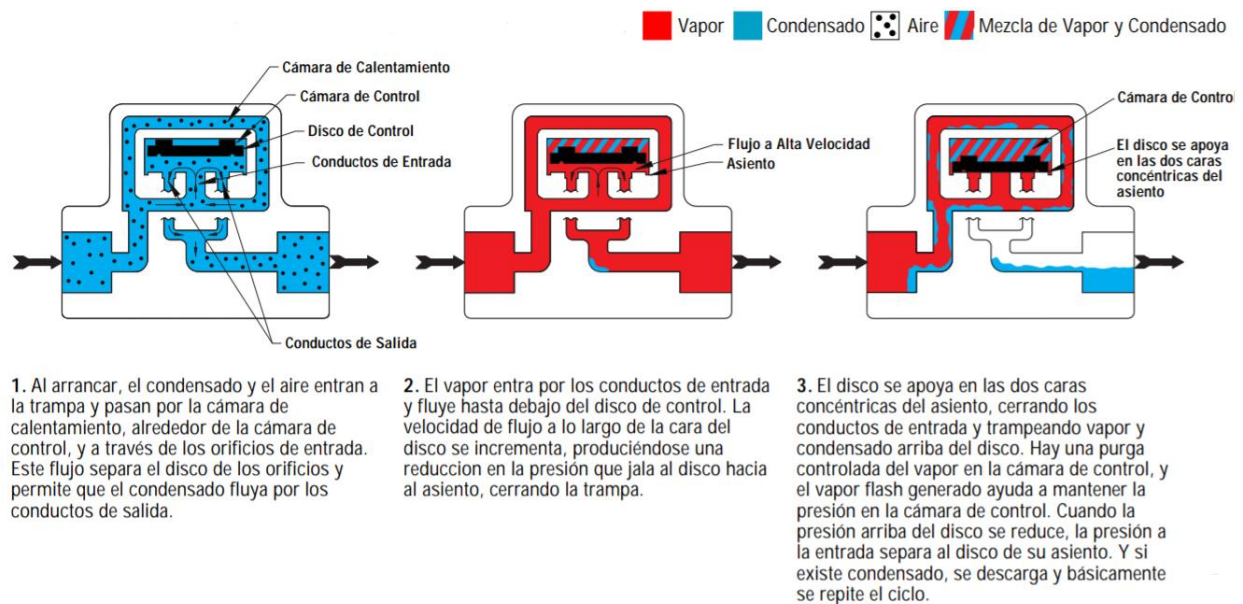
no condensables causa una caída de temperatura significativa, un venteador termostático en la parte superior de la trampa se activa a una temperatura unos cuantos grados menores que la temperatura de saturación, logrando que su capacidad de descarga de volúmenes de aire sea grande, pero a una temperatura ligeramente más baja.

Como una característica de este tipo de trampas, es su capacidad de funcionamiento eficiente bajo condiciones de drenado de condensado variables, además de que puede funcionar en condiciones de contrapresiones, con la única limitante de que, a menor presión diferencial, se reduce el caudal de descarga.



*Figura 12. Funcionamiento de la trampa de vapor de flotador y termostática.
Fuente: Armstrong International, 2011*

Las trampas de vapor de disco controlado es un sistema que funciona con un tiempo de retraso, operando bajo un concepto de velocidades, esta trampa solo tiene una parte móvil, su disco, lo que la hace bastante compacta y liviana, además de ofrecer algunas ventajas como resistencia a los golpes de ariete, descarga total del condensado al abrir, y una operación intermitente para el purgado continuo.



*Figura 13. Diseño y funcionamiento de las trampas de disco controlado.
Fuente: Armstrong International, 2011.*

Las plantas de producción de vapor que utilizan combustibles fósiles, emiten grandes cantidades de GEI a la atmósfera, es por esto que es necesario tomar decisiones que permitan reducir los consumos de combustibles en la planta, mejorando eficiencias energéticas en el proceso, tales como reducciones de presión de operación de la caldera, que puede economizar entre un 1% y un 2% del consumo total del sistema de generación de vapor, o bien utilizando equipos que mejoren el balance térmico del sistema mediante recuperadores de calor y precalentadores de aire, pues las pérdidas de energía en vapor flash representan agua y energía que se están liberando al ambiente sin ningún aprovechamiento tangible para la empresa (Dr Lal Jayamaha, 2016).

En un sistema de distribución de vapor, típicamente se pierde una gran cantidad de energía, provocando que el sistema de generación tenga que realizar más trabajo para compensar las pérdidas de energía iniciales, provocando un círculo de pérdidas en el sistema que actúa en cadena, ocasionando pérdidas considerables de energía que se ven reflejados en la facturación de combustibles utilizados en el proceso de generación de vapor (Taplin,2014)

5.4 Pérdidas de energía en el sistema de generación de vapor.

“La energía que es lanzada al ambiente debido a deficiencias operativas del sistema de vapor, así como también producto de limitaciones termodinámicas en el equipo o el proceso. Parte de esta energía que se lanza al ambiente, puede ser aprovechada, esta energía representa entre un 20% y un 50% del total de energía que utiliza la industria es rechazada al ambiente en forma de calor, sin ningún aprovechamiento tangible” (Reddy, 2013)

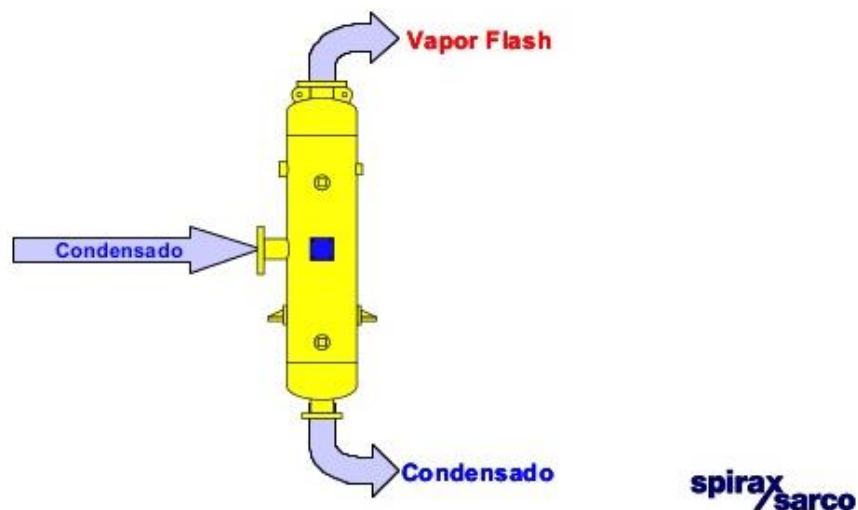


Figura 14. Separador de vapor flash y condensado Spirax Sarco.
Fuente: Aceves, 2016.

5.4.1 Sistema de Retorno de condensados y recuperación de Vapor Flash.

Cuando se tiene condensado caliente a una presión inicial, al reducir la presión, esta parte del líquido se evapora nuevamente, formando lo que se conoce como vapor flash. Debido a las propiedades físicas, el vapor flash tiene el mismo contenido de calor que el vapor vivo que sale directamente de la caldera. Si se diseña e instala un sistema adecuado de recuperación del vapor flash, el calor latente contenido en el vapor flash puede ser aprovechado en sistemas de precalentamiento de agua de un sistema de un proceso industrial o bien para precalentar el agua de alimentación de la misma caldera, por lo cual se dice que el vapor flash no es diferente al vapor vivo o bien al vapor que sale directamente de la caldera, el nombre utilizado es solo un referente de la forma en como fue generado u obtenido este tipo de vapor, ya que se le dice vapor vivo a todo aquel vapor que es generado directamente en un sistema de calderas, o recuperador de energías de rechazo, en cambio el vapor vivo es producido cuando el condensado con alta presión y temperatura es expuesto a una zona de baja presión, siendo que este cambio de presión que normalmente sucede cuando el condensado atraviesa la trampa de vapor, el condensado de alta temperatura y presión al sufrir este cambio de presión súbito, libera el exceso de energía en forma de vapor, pues no es capaz de contener la energía en presiones inferiores a las que viaja aguas arriba de las trampas de vapor por la que es expulsado, es por esto que el condensado de alta presión y temperatura, se evapora en un porcentaje, que se conoce como vapor flash. (TLV, 2020).

El vapor flash ocurre debido a que el punto de saturación del agua varía según sea la presión a la que se encuentre sometido este fluido, por ejemplo, es sabido que a condiciones atmosféricas ideales (temperatura ambiente de 25°C, 0 m.s.n.m, y %H.R 50%) el agua se satura y cambia de fase (de líquido a gaseoso o viceversa) a 100°C, y si el agua saturada a

una presión mayor, sufre una reducción súbita de presión, parte de esta se evapora, generando lo que se conoce como vapor flash, con el objetivo de compensar el exceso de energía latente contenida en el fluido, ahora pasa a ser evaporado en forma de vapor.

El condensado que regresa a la sala de calderas contiene alrededor del 20% de la energía del vapor condensado del que proviene. Con el ahorro adicional en el costo del agua y los efluentes, esto hace que la recuperación de condensados sea obvia para los gerentes de planta de todo el país.

Mientras más condensado pueda recuperar, más energía ahorrará y podrá reducir los costos operativos. Después de todo, usar condensado caliente para calentar el agua de alimentación significa que la caldera tiene menos que hacer para convertir el agua en vapor. De hecho, cada aumento de 6°C en la temperatura del agua de alimentación reduce un 1% el consumo de energía de una caldera típica, que es un ahorro para no ser ignorado, además un sistema de recuperado de vapor flash, abre la oportunidad para incluir en el sistema de alimentación de agua fresca de la caldera (Make Up Water) un deareador que permite alimentar la caldera con una calidad de agua superior si el sistema opera adecuadamente, pues se ve mejorado el sistema de tratamiento de agua de la caldera, pues el oxígeno se remueve, además se evita la fatiga térmica dentro de la caldera al estarse alimentando constantemente del agua de alimentación.

El porcentaje de vapor flash que se evapora, se calcula basándose en las propiedades termodinámicas, contemplando las relaciones de energía contenida en los condensados de alta y baja presión, haciendo una división entre la entalpía de evaporación del fluido a la presión final a la cual será despresurizado, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\%VaporFlash = \frac{Energíacondensadoaltapresión (hf) - Energíacondensadobajapresión (hf)}{Entalpíadeevaporacióndelcondensadodebajapresión (hfg)} * 100$$

*Ecuación 1. Porcentaje de vapor flash liberado según el cambio de presiones en el condensado.
Fuente: TLV, 2020.*

Por lo cual se sabe que un porcentaje de vapor flash es generado cuando el condensado se libera a presión atmosférica en comparación a cuando el condensado bajo las mismas condiciones operacionales y físicas es descargado dentro de un sistema cerrado.

Las nubes de vapor flash generadas, como producto natural de la operación normal de los sistemas de vapor, pueden ser aprovechados, y representar un ahorro significativo de energía, mejorando las condiciones operacionales de la industria. Cuando se trata de implementar un manejo de energía de rechazo, los sistemas de recuperación de condensados y sistemas de recuperación de vapor flash están siempre catalogados como homólogos (TLV, 2020).

5.5 Tecnologías actuales para la recuperación de energía del vapor flash.

Cuando los procesos utilizan vapor vivo en sus operaciones, liberan el condensado que, al ser despresurizado, parte de este líquido se evapora en forma de vapor flash, abriendo una oportunidad de recuperación y aprovechamiento de la energía en lugar de ser liberado a la atmósfera sin ningún aprovechamiento tangible en el proceso.

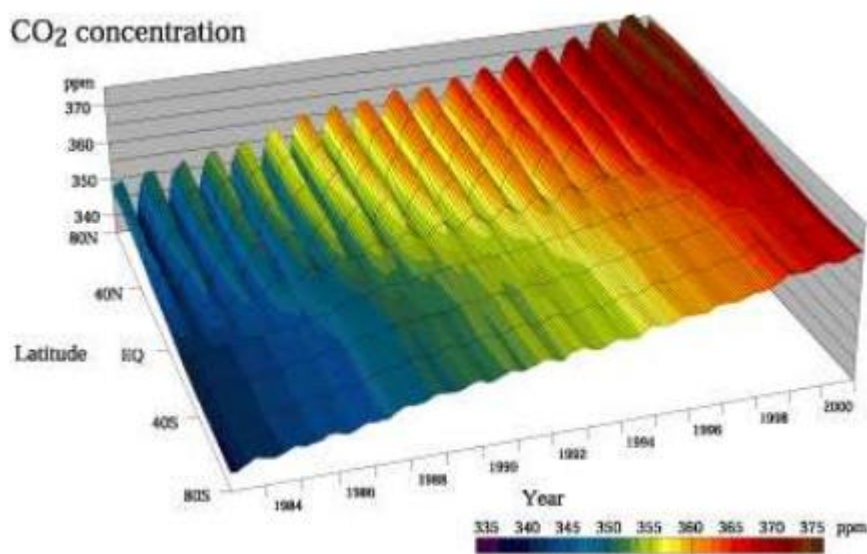
Por lo cual, si se logra reducir o capturar el vapor flash generado a partir del condensado de alta presión, se puede reducir las nubes de vapor flash liberadas, capturando la energía y canalizándola a las operaciones que permitan operar a menores costos y reduciendo la energía necesaria del sistema de calderas al mismo tiempo.

Los tanques de recolección de condensados venteados a la atmósfera, por su naturaleza de operación, liberan el calor excedente contenido en el condensado y lo liberan al ambiente, por lo cual las plantas o industrias que tengan este problema en algún punto de sus operaciones pueden recuperar la energía contenida en el vapor flash mediante dos sistemas; compresores de vapor y tanques de recuperación de vapor flash para usuarios en baja presión (TLV, 2020).

Los compresores de vapor, resultan convenientes utilizarlos siempre que sea necesario utilizar vapor de alta presión a partir de vapor de baja presión o bien vapor flash, convirtiendo el exceso de vapor en baja presión a vapor aprovechable en usuarios de alta presión, por lo cual se dice que el vapor de baja presión se comprime a una mayor presión sin necesidad de utilizar una caldera adicional que genere vapor vivo nuevamente,

5.6 Efecto Invernadero.

El efecto invernadero es un fenómeno que se produce bajo condiciones adecuadas, el cual sube la temperatura de la atmósfera debido a la acumulación de gases en la atmósfera, principalmente del dióxido de carbono.



*Figura 15. Acumulación de GEI en la atmosfera hasta el año 2000.
Fuente: Benavides, 2007.*

La cantidad de gases de efecto invernadero liberados en la atmósfera de la tierra durante el año 2017 alcanzó máximos históricos, según el Informe Anual del Estado del Clima, los datos analizados reportan un incremento alarmante en la concentración media mundial de dióxido de carbono (CO₂) en la superficie de la tierra en tan solo una diferencia de un año, en 2017 la concentración de dióxido de carbono media estimada fue de 405 partes por millón (ppm), lo que corresponde a 2,2 ppm más que las registradas en 2016 (Aguirre, 2018).

Los gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero.

En la atmósfera de la tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Hay además en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) que están clasificados en GEI directos e indirectos. El vapor de agua también es uno de los más abundantes gases de efecto invernadero,

GEI Directos: Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. En este grupo se encuentran: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados.

“GEI Indirectos: Son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo. En este grupo se encuentran: los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono”. (Benavides, 2007).

Para efectos de este proyecto se consideran las emisiones de gases de efecto invernadero relacionados con el dióxido de carbono, metanos y óxidos nitrosos, dejando por

fuera el vapor de agua, ya que actualmente no existe una línea que divida el vapor de agua que existe en la atmosfera por condiciones climatológicas naturales y el vapor de agua debido a las actividades industriales.

5.7 Indicadores Financieros.

El proceso del análisis financiero consiste en la aplicación de técnicas y herramientas analíticas sobre los datos financieros, con el objetivo de obtener a partir de estos datos, medidas y relaciones significativas y útiles para la toma de decisiones, como un proceso crítico dirigido a evaluar la posición financiera presente, pasada y los resultados de las operaciones de una empresa, con el fin de establecer las mejores estimaciones y predicciones posibles sobre las condiciones y resultados futuros (Espinoza, 2010.)

Ahora bien, lo que no se mide no se controla, y para poder determinar si un proyecto en una empresa u organización es viable a nivel financiero, es necesario alinear los indicadores con los que se va a valor cada estrategia con la alta gerencia de la empresa, para este proyecto se toman los parámetros de la Tasa de Retorno, la cual debe ser mayor a 14% y el período de recuperación de la inversión realizada debe ser menor a 10 años. Una vez teniendo claro estos valores determinados por la alta gerencia de Cargill, se estudian los siguientes indicadores financieros:

5.7.1 Valor Actual Neto (VAN):

Indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto, mediante mediciones de los futuros ingresos y egresos, descontando la inversión inicial. (ESAN,2019)
Para determinar si el proyecto es rentable o no se parte de la siguiente ecuación general:

VAN= Beneficio neto actualizado – Inversión.

A partir del cálculo anterior se procede a determinar si el proyecto es rentable o no, basados en las siguientes condicionales:

VAN < 0 el proyecto no es rentable.

VAN = 0 el proyecto es rentable.

VAN > 0 el proyecto es rentable.

5.7.2 Tasa Interna de Retorno (TIR):

“Se define como una herramienta administrativa financiera utilizada como indicador para evaluar proyectos de inversión, analizando si el proyecto va a generar rentabilidad, utilidad, ganancia y/o valor”. (Mateos, 2018)

Cuanto mayor sea la tasa de retorno interna de un proyecto, más rentable será. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$I = \sum_{i=1}^m \frac{Fn_i}{(1 + TIR)^i}$$

Dónde:

I = Inversión inicial del proyecto.

Fn = Flujo de neto de caja.

TIR = Tasa interna de retorno.

i=Periodo

Se tienen las siguientes condicionales para determinar si el proyecto es aceptable o no.

TIR > 0 y VAN > 0: Se acepta el proyecto, porque se recupera la inversión y genera ganancias futuras.

TIR = 0 y VAN = 0: Se rechaza el proyecto.

TIR < 0 y VAN < 0: El proyecto se rechaza debido a que genera pérdidas.

5.7.3 Retorno de Inversión (ROI):

“El retorno de inversión (ROI) mide la rentabilidad de una inversión durante la etapa de análisis de un proyecto, previo a su ejecución y desarrollo real, determinando si la inversión será o no rentable”. (Komiya, 2019), y así tomar decisiones sobre la ejecución o no de la inversión.

El ROI se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{ROI} = (\text{Utilidad o Ganancia} / \text{Inversión}) \times 100$$

Para saber si el ROI es rentable o no se tienen las siguientes condicionantes:

ROI > 0: La inversión es rentable.

ROI < 0: La inversión no es rentable.



Capítulo 3. Desarrollo del proyecto.

Metodología a seguir:

1) **Compilar datos de los equipos que consumen vapor y sus horarios de consumo y su simultaneidad:** Es necesario para inicial con el proyecto propuesto, recolectar datos de placa de los equipos, así como los consumos de los sistemas que lo componen (Consumos de vapor, consumos de búnker, consumos de energía eléctrica) para poder tener un parámetro inicial y darse una idea más clara del panorama en el que se encuentra la empresa con respecto al sistema de generación de vapor general de la planta.

2) **Calcular los datos de emisiones de gases de efecto invernadero emitidos en el proceso de generación de vapor con búnker:** Es necesario documentar las condiciones actuales de emisiones de GEI en la planta debido al sistema de generación de vapor, y bajo los diferentes panoramas y alcances que se pueden lograr con la implementación de un sistema de recuperación y aprovechamiento del agua y la energía contenida en el vapor flash con diferentes inversiones y alcances ambientales y económicos.

3) **Estudiar y analizar el consumo histórico del combustible tipo búnker-C utilizado para alimentar el sistema de vapor principal que abastece a la planta actualmente:** En este proyecto, los mayores ahorros económicos y ambientales se dan producto de la reducción del gasto de Búnker-C en el área de calderas debido a la recuperación de energía en el vapor flash actualmente liberado a la atmósfera, debido a la configuración actual del sistema de recolección de condensados en el área de render.

4) **Investigar las opciones recuperación de vapor flash y energía que pueden implementarse en los diferentes sectores del sistema de vapor general de**

la empresa: En esta etapa de la metodología, se requiere investigación para determinar cuál equipo que ofrece el mercado es el adecuado para suplir las exigencias del proceso sin sacrificar la calidad del vapor ofrecido actualmente, las presiones de operación requeridas, ni comprometer la viabilidad espacial del sistema tanto en su operación final como en el momento de la instalación

5) **Estimación de los ahorros en combustible tipo Búnker-C al implementar los sistemas de recolección y optimización de energía del vapor auxiliares:** Para este paso de la metodología, se debe determinar cuál es el beneficio económico que se obtiene al implementar las tecnologías de aprovechamiento de la energía y el agua contenida en el vapor flash y la implementación de sistemas de aprovechamiento de la energía en el área de calderas.

6) **Análisis financiero del proyecto:** Punto de gran importancia para el proyecto, pues es lo que determina en cuánto tiempo se percibe el beneficio económico de la inversión del proyecto y en cuánto tiempo se devuelve la inversión realizada a la empresa bajo tres diferentes escenarios de inversión en este caso particular, lo que permite tomar una decisión acorde con los alcances ambientales y económicos internos de la empresa sobre la ejecución del proyecto, bajo panoramas de inversión y diferentes alcances que marquen una línea de referencia que permita conocer el panorama previo a la inversión realizada.

Consumos de búnker C y demandas de Vapor en el área de Calderas.

8.1 Consumos de Búnker-C en el área de Calderas.

Los consumos de búnker-C que se registran en la planta, son medidos día con día y registrados por los calderistas de cada turno, al igual que los reabastecimientos de combustible tipo búnker-C que bajo operaciones normales en planta se coordina dos veces por semana la visita de un camión cisterna para mantener el nivel del tanque principal de almacenamiento de Búnker-C, en niveles que garanticen la operación del sistema de vapor por algunos días sin necesidad de un nuevo abastecimiento en caso de una emergencia o un evento imprevisto que comprometa el abastecimiento de este hidrocarburo al sistema de vapor actual.



Figura 16. Tanque de almacenamiento de Búnker-C ubicado en el suroeste de la planta, con capacidad de almacenamiento de 113 550 litros (30 000 galones)

Fuente: Elaboración propia

El área de calderas tiene tres usuarios de vapor o agua caliente, estos usuarios tienen diferente peso en la representación del consumo total de búnker en planta, por lo cual según el departamento de facturación de energías a nivel interno de la planta de proceso, se maneja la siguiente distribución de consumos de combustible tipo Búnker-C requeridos para la producción de vapor que será utilizado directamente en los equipos de proceso o en intercambiadores de calor que faciliten agua caliente a las diferentes actividades que lo requieran.

Tabla 7. Razón de consumo de búnker en los usuarios del área de calderas.

USUARIOS DE ENERGÍA DERIVADA DEL BÚNKER-C	
Planta	% Consumo Búnker-C
Planta Proceso San Rafael	14,44%
Planta Proceso Kimby	8,14%
Área de Rendering	77,72%

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El consumo de Búnker-C en toda la planta, se distribuye como se muestra en la tabla 9, siendo el área de Rendering el mayor consumidor de vapor del Complejo de Producción San Rafael (Abarca Planta de proceso San Rafael, Planta de proceso Kimby y área de Rendering, con una demanda del 77,72% del consumo total de búnker almacenado en el tanque de almacenamiento de Búnker-C, mostrado en la Tabla 7.

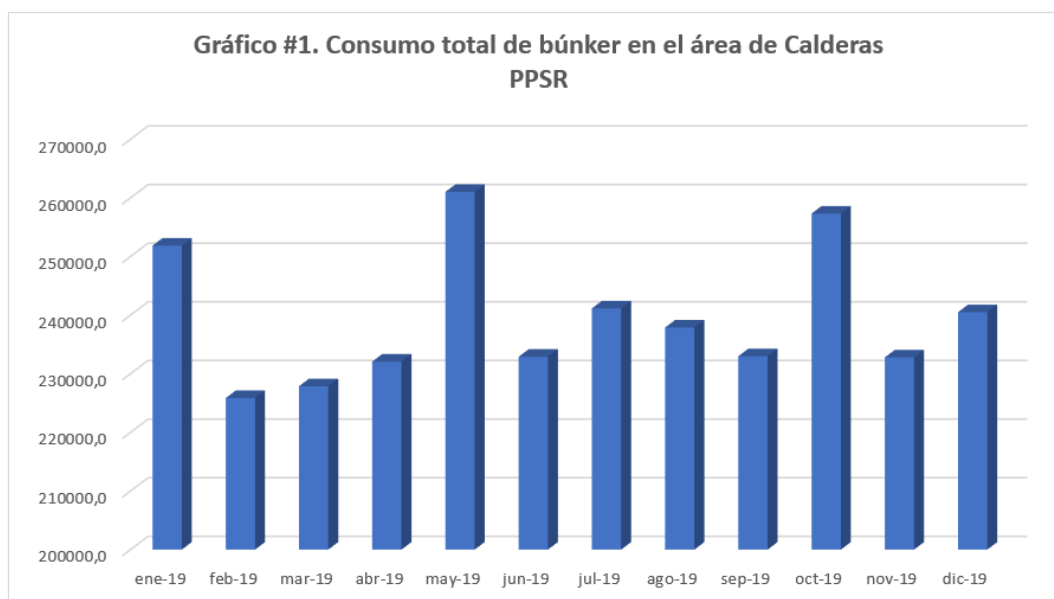
Los datos mostrados en la Tabla 8, representan el total de volumen consumido y el costo total mensual del combustible en precio del plantel, pues para efectos de este proyecto, los costos económicos que representa el transporte son tomados como costos fijos, ya que el servicio de transporte no se verá afectado en la frecuencia de abastecimiento, sin embargo se verá afectado en el volumen abastecido en cada servicio, razón por la cual las estimaciones

económicas del gasto en búnker en el área de calderas, serán mostradas basándose en estos datos de Búnker-C facturado a precio de plantel.

Tabla 8. Consumos de búnker y costo estimado según las bitácoras de consumo registradas por los calderistas.

Consumo de búnker en Planta de producción San Rafael (PPSR).			
Mes	Galones	litros	Costo
ene-19	66540	251853,9	¢72 120 816,2
feb-19	59670	225851,0	¢58 167 422,6
mar-19	60201	227860,8	¢65 882 484,8
abr-19	61312	232065,9	¢67 098 335,7
may-19	68961	261017,4	¢81 730 693,1
jun-19	61531	232894,8	¢71 944 468,1
jul-19	63710	241142,4	¢62 694 028,1
ago-19	62848	237879,7	¢68 815 721,3
sep-19	61556	232989,5	¢57 492 027,2
oct-19	67982	257311,9	¢56 817 666,0
nov-19	61501	232781,3	¢54 004 772,1
dic-19	63539	240495,1	¢47 054 122,2
Total	759351	2874143,5	¢763 822 557,3
Poder calórico superior (RECOPE)		41,99	MJ/litro
Energía anual consumida		120681533,40	MJ/año
		120681,53	GJ/año

Fuente: Elaboración propia, 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cargill, 2020.

Figura 17. Máximos, mínimos y promedios de consumo mensuales de Búnker-C desde enero 2019 hasta enero 2020

Consumos mensuales de Búnker-C en el área de calderas de enero 2019 a 2020					
Consumo Máx. Mens (l)	Consumo Mín. Mens. (l)	Consumo Prom. Mens. (l)	Desviación estándar	%Coeficiente de variación	Varianza
261 017,39	225 850,95	240 176,30	11 240,67	4,68	126 352 574,83

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9. Datos del bunker reportados por RECOPE y el costo promedio por litro estimado.

Especificaciones de Búnker C al año 2017		
Densidad prom@15°C	987	kg/m3
Poder Calórico	42,5	MI/kg
Costo Combustible prom.	¢258,97	colones/litro
Tipo de cambio del dólar	570	colones
Eficiencia de la caldera	0,84	%

Fuente: Elaboración propia con datos de (RECOPE, 2020).

La densidad promedio registrada, el poder calórico y el costo promedio del combustible son datos obtenidos directamente desde la página oficial de RECOPE, desde donde se puede tener acceso a una hoja de cálculo con los registros históricos de precio de los combustibles y también se encuentra disponible a los consumidores los datos técnicos y químicos de cada combustible, lo que permite obtener las densidades promedio reportadas para el Búnker tipo C y su poder calórico. El dato de eficiencia obtenido de la caldera es determinado mediante análisis mensuales que se realizan en campo por contratistas externos a Cargill, quienes estudian la temperatura de los gases de salida en la chimenea de la caldera, donde se determina que la eficiencia actual de la caldera es de 84/100, como parte de estos análisis realizados por estos contratistas miden las concentraciones de gases dentro de la chimenea, en fuego bajo, fuego medio y fuego alto.

Los datos operativos del sistema de vapor ya han sido calculados previamente como parte del control de gasto en los sistemas de alto consumo de energía en la planta, estos datos serán utilizados posteriormente para estimar los costos que representan los kilogramos de vapor que se liberan al ambiente producto de la configuración actual del sistema de retorno de condensados en el área de Rendering, también se manejan datos del costo de extracción de cada metro cúbico del agua en el complejo de producción, pues se cuenta con dos pozos perforados, donde el costo del agua potable consumida por PPSR y KB se estima contemplando el costo inicial de la excavación del pozo, este costo es distribuido entre los años de operación útil, sumado al costo de la compra e instalación de los sistemas de bombeo, costos de energía consumida durante la operación y energía demandada en el arranque y operación del sistema de bombeo, además del costo por mantenimiento y consumo de los sistemas potabilizadores. Los datos operativos del sistema de vapor para el 2019 se desglosan en la Tabla 10.

Tabla 10. Datos de costos operativos del sistema de generación de vapor.

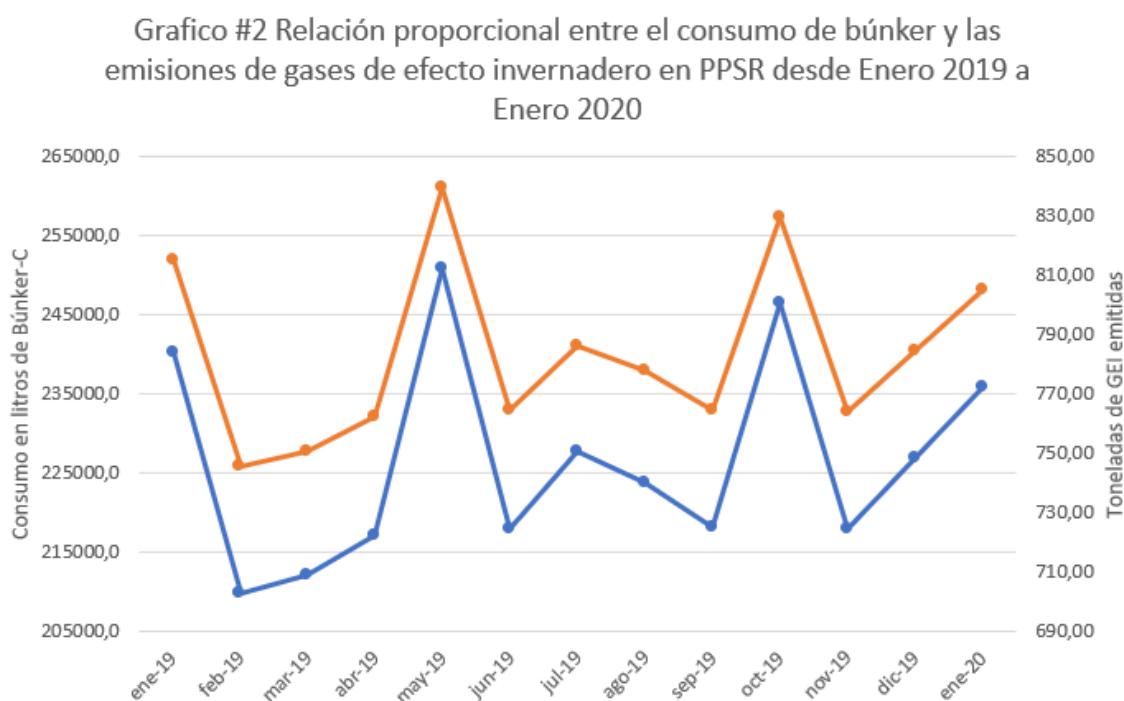
Datos operativos del sistema de generación de vapor		
Descripción	Valor	Unidades
Vap. Gen/litro búnker	14,53	kg Vapor/l búnker
combustible / ton vapor	68,84	l búnker/Ton vapor
Costo del vapor producido	19154,42	Colones/Ton. Vapor
Costo de energía Adquirida	6680,69	Colones/GJ
Costo energético al usar la caldera	7953,2	Colones/GJ
Costo de extracción del agua (pozo)	2	Dólares/m3

Fuente: Elaboración propia con datos de (TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020)

Los consumos de Búnker-C al verse reflejados al costo económico de compra por litro en plantel, se observa una tendencia a la baja en el período de agosto de 2019 a enero de 2020 en la figura 12, sin embargo las emisiones de gases de efecto invernadero se ven aumentando en mayo, octubre y diciembre del año 2019, pues las demandas de vapor registradas son

mayores para estos meses como respuesta a una mayor demanda de kilogramos de carne de pollo por el mercado nacional.

Por lo cual queda marcada una tendencia directamente proporcional entre el consumo de litros de búnker-C y las emisiones de GEI liberadas al ambiente, siendo que de lograrse reducir el gasto en el búnker, se logre reducir la huella de carbono actual del área de calderas en PPSR. En el Gráfico #2 mostrado, en el eje de la izquierda se muestran los litros consumidos, que corresponden a la tendencia naranja, del otro lado del Gráfico #2, se encuentran las toneladas GEI emitidas que corresponden a la tendencia azul, desde enero de 2019 a enero de 2020.



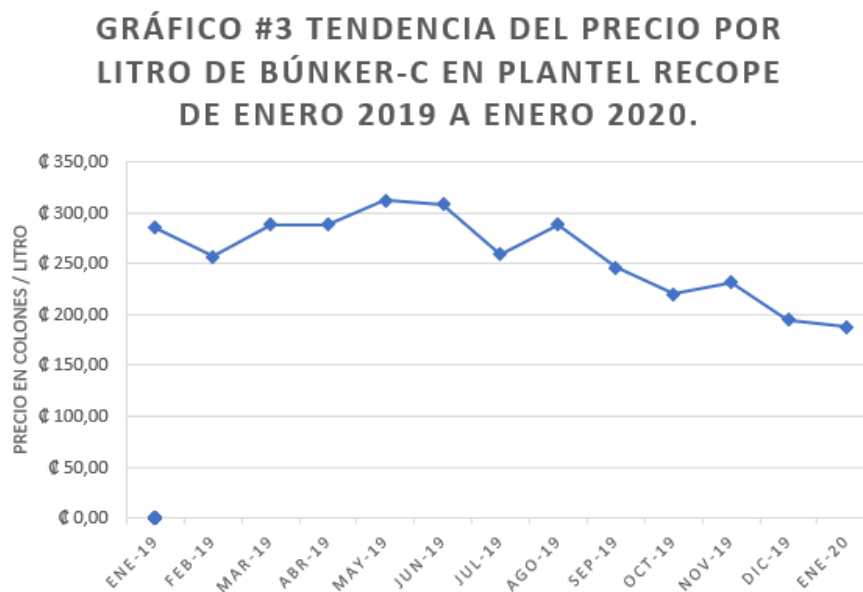
Fuente: Elaboración propia.

Los costos del combustible se calculan con el precio que se comercializa en el plantel de RECOPE, debido a que, en la planta de producción de pollo ubicada en san Rafael de

Alajuela, abastece dos veces por semana el combustible al tanque de almacenamiento principal, resultando los costos de transporte en un gasto fijo semanal, mensual y anual, ya que el camión cisterna factura los litros que abastece en cada servicio.

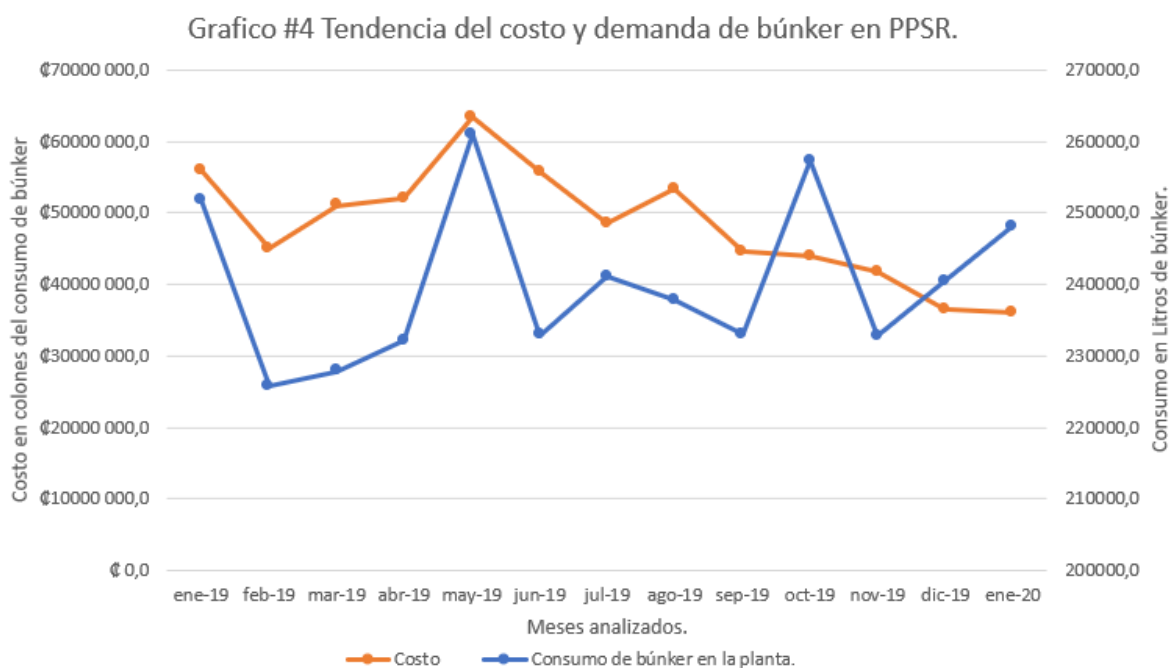


*Figura 18. Cisterna en posición de descarga de combustible en el área de calderas.
Fuente: Elaboración propia.*



Fuente: Elaboración propia, 2020.

La tendencia del costo por litro de búnker viene disminuyendo desde el mes de junio del año 2019, hasta enero del año 2020, lo que se ve reflejado en una disminución de la facturación por compra de este combustible, sin embargo, el consumo de combustible presenta tendencias al alza, y proporcionalmente se muestra un incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero que se emiten durante el proceso de combustión de búnker para generar la facilidad de vapor en la planta, se observa que las tendencias de emisiones GEI, son directamente proporcionales al consumo en litros de Búnker-C.



Se presenta el Gráfico #4 donde se muestra el eje vertical derecho con los datos de litros de búnker consumidos que corresponden a la línea de tendencia azul, del otro lado, se tiene el eje vertical izquierdo que contiene representa el costo facturado en búnker-C durante el período de enero de 2019 a enero de 2020.

8.2 Demandas de Vapor:

El área que más consume vapor en la Planta de Producción San Rafael (PPSR), es el área de Rendering cuya función principal consiste en procesar, todo el producto que es derivado del proceso de producción de pollo para consumo humano (proteínas, grasas, plumas, sangre, entre otros) para crear harinas y aceites para consumo animal.

La recolección de datos de consumo de vapor en la planta resulta una tarea retadora, pues existen muchas variables a considerar además de los consumos nominales reportados en las placas de los equipos, pues existen inercias térmicas que deben considerarse en los cálculos y picos de consumo en función del horario de producción con el que se desarrolla el proceso de producción general de la planta. Además como parte de la propuesta de aprovechamiento del vapor flash, se decide no incluir dentro del sistema de recuperado de condensados de alta presión (1 bar) de algunos equipos que por su naturaleza o ubicación no resulta práctico recuperar el condensado para aprovecharlo como vapor flash, enfocando el proyecto de vapor flash en al área de Rendering, específicamente en la recuperación de condensados de las dos cocinas de plumas y las cuatro cocinas de cárnicos, aprovechando que estos condensados son llevados a un mismo tanque, tomarlos en el punto de convergencia e ingresarlos al sistema de recuperación de vapor flash.

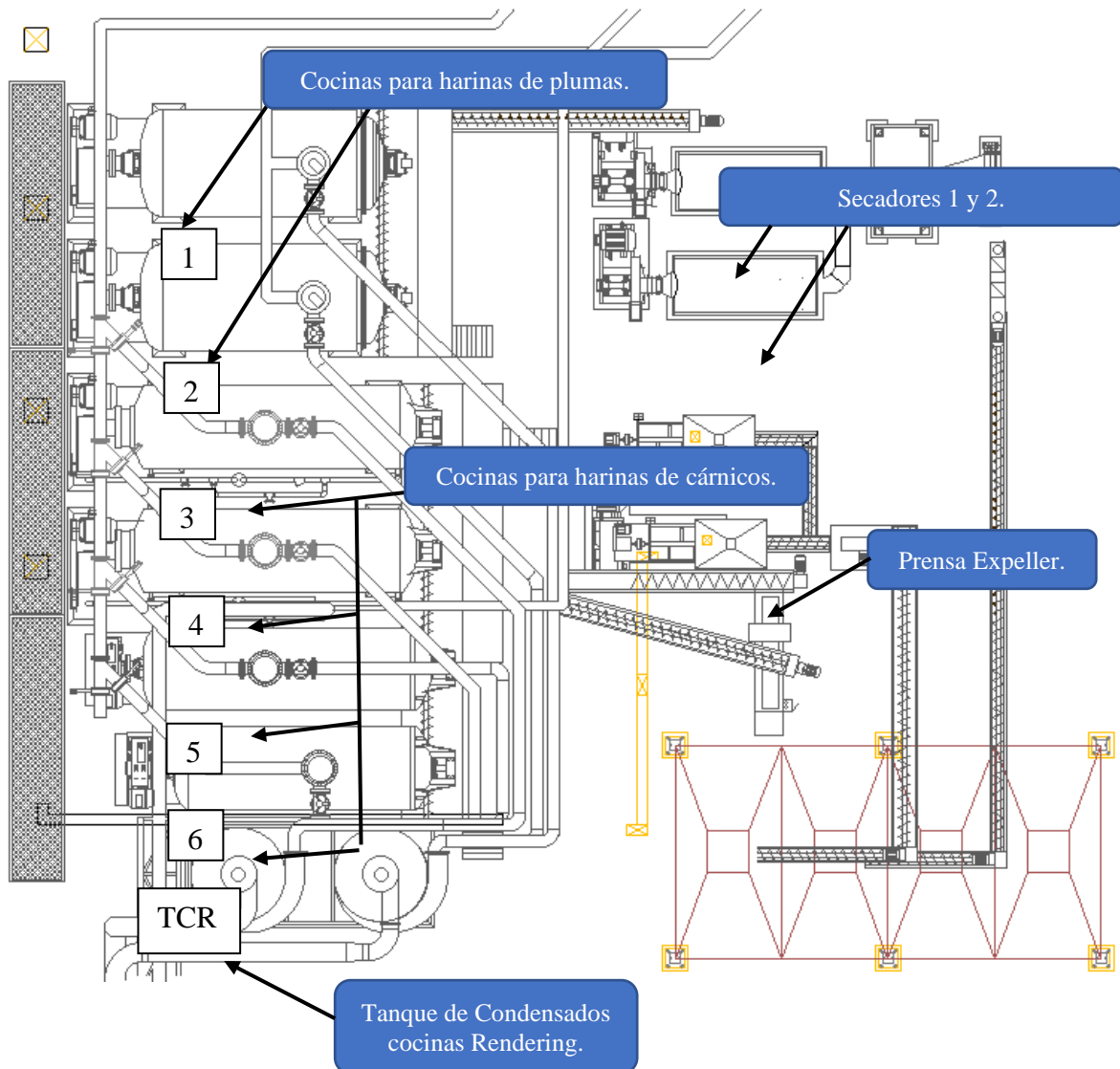


Figura 19. Vista en planta del área de Rendering; se identifican numéricamente las cocinas para el cocimiento de harinas, y el tanque de condensados cocinas Rendering.
Fuente: PPSR, Cargill, 2020.

Para estimar los consumos de vapor por las cocinas de cárnicos y plumas, secadores 1 y 2, la prensa Expeller y las trampas de las tuberías, se cuenta con material generado en el mes de enero del año 2020 como producto de una auditoría de la empresa TermoEléctrica Ingeniería SIE, SRL. Los datos mostrados están basados en un balance energético que permite considerar variables como la eficiencia global del sistema de generación de vapor, la

capacidad de evaporación del sistema de calderas, generación real del sistema de vapor, además de su generación nominal, y el condensado esperado por recuperar.

Tabla 11 Consumos de los usuarios de vapor en el área de Rendering

Área	Equipo	Consumo Nominal Máximo de Vapor	Presión (kPa)		Control de Temperatura (Sí/No)	Tipo de Intercambiador de Calor	Inyección directa del vapor (Sí/No)	Retorna Condensado (Sí/No)	Cómo Retorna Condensado
		kg/h	Mín.	Máx.					
Rendering	Cocedor de plumas + sangre #1	2 360,0	650	700	No	Cocedor con chaqueta	No	Sí	Presión Diferencial
	Cocedor de plumas + sangre #2	2 360,0	650	700	No	Cocedor con chaqueta	No	Sí	Presión Diferencial
	Cocedor de cárnicos #1	2 360,0	650	700	No	Cocedor con chaqueta	No	Sí	Presión Diferencial
	Cocedor de cárnicos #2	2 360,0	650	700	No	Cocedor con chaqueta	No	Sí	Presión Diferencial
	Cocedor de cárnicos #3	2 360,0	650	700	No	Cocedor con chaqueta	No	Sí	Presión Diferencial
	Cocedor de cárnicos #4	2 360,0	650	700	No	Cocedor con chaqueta	No	Sí	Presión Diferencial
	Secador #1 de haria línea plumas + sangre.	235,9	650	700	No	Serpentin Sumergido	No	Sí	Presión Diferencial
	Secador #2 de haria línea plumas + sangre.	235,9	650	700	No	Serpentin Sumergido	No	Sí	Presión Diferencial
	Prensa Expeller nueva	70,9	650	700	No	Cocedor con chaqueta	No	No	Presión Diferencial
	Trampas de tuberías	150,0	650	700	No		No	Sí	Presión Diferencial
TOTAL Suma aritmética		14 852,7							

Fuente: TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020

Los datos de consumo de vapor en el área de Rendering, permiten definir usuarios intensivos de la energía contenida en el vapor generado por el sistema de calderas, pues como se muestra en la figura 21, el 98% del consumo de vapor se da en las cocinas, distribuido en un 37% de vapor consumido por las cocinas de cárnicos y un 61% de vapor consumido por las cocinas de cárnicos.

Las cocinas de cárnicos consumen mayor cantidad de energía debido a la naturaleza del proceso, ya que se produce más cantidad de kilogramos de productos cárnico que de productos de plumas, por lo cual las cocinas de cárnicos llevan mayor cantidad de carga y se mantienen en operación durante mayor tiempo durante el día.

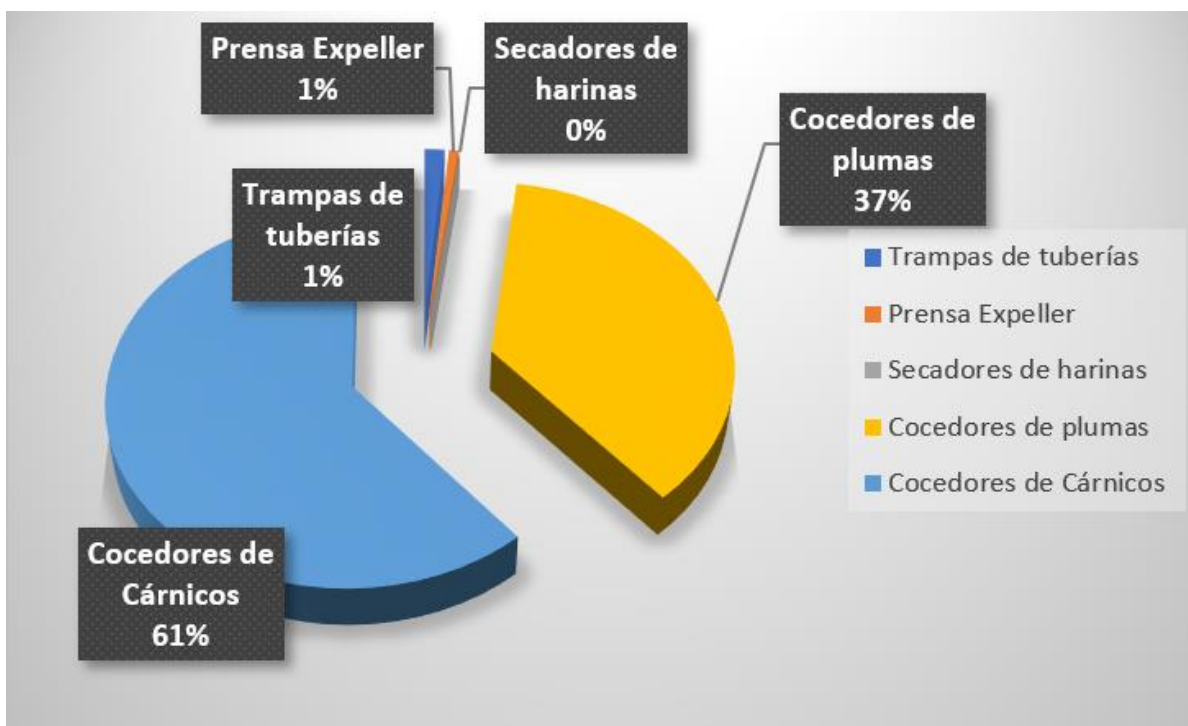


Figura 20. Desglose de los equipos consumidores de vapor en el área de render en su pico máximo de producción.
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 12 Consumos pico, nominal y promedio de los cocedores

Cocedores		
Nominal	4000,00	Lb/hr
	1814,88	kg/hr
Pico arranque	5200,00	Lb/hr
	2359,35	kg/hr
Promedio	4600	Lb/hr
	2087,1143	kg/hr

Fuente: TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.

Los consumos de vapor que debe suplir la caldera consideran demandas horarias y la simultaneidad de los equipos en función de las exigencias de procesamiento de producto, además se considera una condición de reducción de consumo de vapor en las cocinas de cárnicos y plumas conforme avanza el tiempo en el proceso de cocimiento, permitiendo valores de consumo de vapor teóricos, más cercanos a la realidad al considerar los efectos de capacidad calórica volumétrica.

En la tabla 13 se detalla el consumo de los equipos de render a lo largo del día, en función del horario de producción de la planta, estos consumos se muestran sin ningún factor de reducción de consumo, dando un consumo máximo de 12199 kg/h de vapor a la 1 de la mañana.

Tabla 13 Datos de consumo de vapor del área de Render, sin condicionante.

Área	Usuario o Aplicación	Horario operación	Hora del día																							
			19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Renderin g	Cocedor de plumas + sangre #1	7 pm a 9 am (o 10 am)				2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88											
	Cocedor de plumas + sangre #2	7 pm a 9 am (o 10 am)							2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88		2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88					
	Secador #1 de haria línea plumas + sangre.											235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	
	Secador #2 de haria línea plumas + sangre.											235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	
	Cocedor de cárnicos #1	8 pm, 4,5 horas proceso		2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88			
	Cocedor de cárnicos #2	9 pm, 4,5 horas proceso			2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35		
	Cocedor de cárnicos #3	10 pm, 4,5 horas proceso				2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88					
	Cocedor de cárnicos #4	12 mn, 4,5 horas proceso						2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88			
	Prensa Expeller nueva	1 am, 6pm							70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	
	Trampas de tuberías	8 pm a 8 pm	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	0	150	150	150	150	150	150
			150	2509,347	4324,2	8498,457	7409,53	9768,87	12199,1	11654,6	11655	12126,49	12126,5	12126	10311,6	10311,6	10311,6	10311,6	10161,6	10311,6	9767,14	6137,38	4322,49	3052,075971	692,729328	692,729

Fuente: TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.

Ahora bien, se procede a aplicar factores de reducción de las cargas de vapor en las cocinas de cárnicos y cocinas de plumas respectivamente, considerando la naturaleza del producto, pues las plumas contienen menor densidad que los productos cárnicos, y además contienen mayor contenido de humedad, lo cual provoca que la reducción sea menor que la de los productos cárnicos que se procesan, además como puede apreciarse en las tabla 14 y en la tabla 15, las cocinas de plumas duran una hora más en terminar el producto.

Tabla 14 Condiciones de reducción de consumo de vapor en las cocinas de plumas y cárnicos.

Cocina de	Reducción	1	2	3	4	5	6
Cárnicos	10%	100%	90%	80%	70%	60%	
Plumas	7%	100%	93%	86%	79%	72%	65%

Fuente: TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.

Tabla 15 Datos de consumo de vapor del área de Render con condicionante de reducción de consumo.

Área	Usuario o Aplicación	Horario operación	Hora del día																							
			19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Renderin g	Cocedor de plumas + sangre #1	7 pm a 9 am (o 10 am)				2359,35	1687,84	1560,80	1433,76	1306,72	1179,67	2359,35	1687,84	1560,80	1433,76											
	Cocedor de plumas + sangre #2	7 pm a 9 am (o 10 am)							2359,35	1687,84	1560,80	1433,76	1306,72	1179,67		2359,35	1687,84	1560,80	1433,76	1306,72	1179,67					
	Secador #1 de haria línea plumas + sangre.	4 am a 6 pm										235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93
	Secador #2 de haria línea plumas + sangre.	4 am a 6 pm										235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93	235,93
	Cocedor de cárnicos #1	8 pm, 4,5 horas proceso		2359,35	1633,39	1451,91	1270,42	1088,93	2359,35	1633,39	1451,91	1270,42	1088,93	2359,35	1633,39	1451,91	1270,42	1088,93	2359,35	1633,39	1451,91	1270,42	1088,93			
	Cocedor de cárnicos #2	9 pm, 4,5 horas proceso			2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1088,93	2359,35	1633,39	1451,91	1270,42	1088,93	2359,35	1633,394	1451,91	1814,88	1814,88	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	2359,35		
	Cocedor de cárnicos #3	10 pm, 4,5 horas proceso				2359,35	1633,39	1451,91	1270,42	1088,93	2359,35	1633,39	1451,91	1270,42	1814,88	1814,882	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88				
	Cocedor de cárnicos #4	12 mn, 4,5 horas proceso						2359,35	1633,39	1451,91	1270,42	1088,93	2359,35	1633,39	1814,88	1814,88	1088,93	2359,35	1814,88	1814,88	1814,88	1814,88				
	Prensa Expeller nueva	1 am a 6 pm							70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86	70,86
	Trampas de tuberías	8 pm a 8 pm	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	0,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
			150	2509,35	4142,74	8135,48	6556,53	8425,86	10366,1	9748,99	9676,40	9930,48	9857,88	9785,29	9748,99	9767,14	8551,17	9331,57	9780,48	9621,95	8768,95	5592,91	3596,54	3052,08	692,73	692,73

Fuente: TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.

Se obtiene un flujo máximo de 10 366 kg/h de vapor cuando se aplica la condición de reducción de consumo de vapor conforme avanza el tiempo del proceso, y se estima que el vapor flash recuperado es un 13% del total del condensado obtenido, estimando una recuperación de vapor flash de 1348 kg/h, con alto contenido de energía que puede aprovecharse de alguna manera en el proceso de producción de la industria.

8.2.1 Demandas de agua caliente en planta Kimby, planta Pipasa y Escaldadoras de pollo:

Los requerimientos de agua caliente en la planta, actualmente son abastecidos por un tanque de agua caliente horizontal, ubicado al costado este del cuarto de calderas, toma la energía calórica requerida para elevar la temperatura del agua caliente a la temperatura

requerida por el equipo de operaciones y calidad para los procesos de producción y aseo de PPSR y KB mezclando con vapor vivo de la caldera y el agua cargada con el calor residual del sistema lavador de gases (Intercambiador de calor) provenientes de las cuatro cocinas de cárnicos y dos cocinas de plumas que operan en el área de Rendering más el agua fresca proveniente de pozo. La energía proveniente del vapor es inyectada directamente al tanque mediante una tobera que se encuentra sumergida en el agua precalentada por el sistema lavador de gases, sin embargo este sistema lavador de gases no mantiene constante la temperatura, ni tampoco abastece el total de energía requerida para calentar el total del volumen requerido de agua caliente cuando la tasa de producción es alta, siendo necesario inyectar vapor vivo al tanque de agua caliente para poder brindar los 65°C que requiere la planta para procesos de aseo y cuando se inyecta el vapor vivo mediante la tobera, se mezclan el agua con el vapor, provocando que el vapor inyectado se condense y el agua inicial del tanque absorbe este calor proveniente del chorro de vapor.

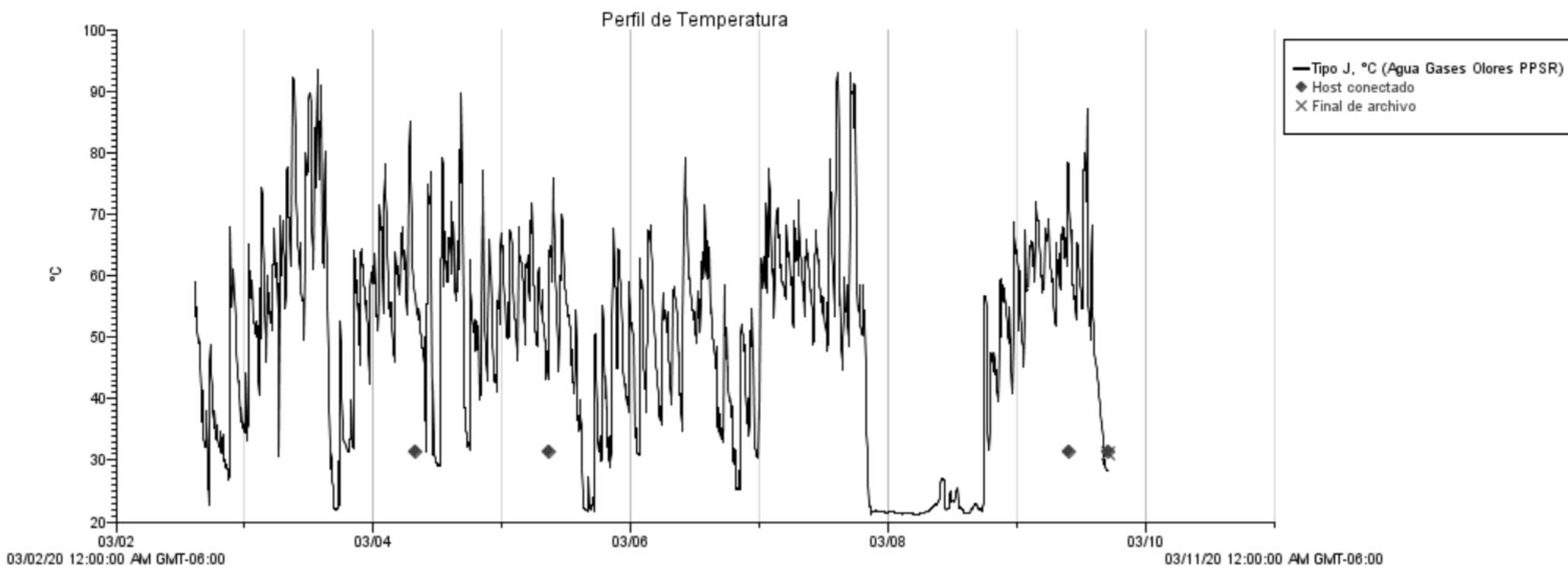


Figura 21. Perfil de temperaturas en el agua del sistema de lavado de gases de las cocinas medidos durante el 02 de marzo a las 2:42:48 pm al 09 de marzo a las 5:09:43pm.
Fuente: Elaboración Propia con equipo HOBBO datalogger.

Ahora bien, los consumos de agua caliente en la planta de producción de pollo Pipasa, y planta Kimby, se detallan en la Tabla 16.

Tabla 16. Consumos de agua caliente en el Complejo San Rafael.

Área	Usuario o Aplicación	Datos unitarios		Consumo Nominal de Agua				Factor de Uso		Consumo Agua en Demanda			Horario operación
		Cant.	lpm	lpm	gpm	l/h	m3/h	Cant.	%	lpm	gpm	m3/h	
Sacrificio	Esterilizador (1 pc)	1	3	3	0,79	180	0,18	1	100%	3	0,8	0,18	7 pm a 9 am (o 10 am)
Desplume	Escaldadora	1	62,5	62,5	16,51	3750	3,75	1	100%	63	16,5	3,75	7 pm a 9 am (o 10 am)
Desplume	Escaldadora	1	62,5	62,5	16,51	3750	3,75	1	100%	63	16,5	3,75	7 pm a 9 am (o 10 am)
Desplume	Deep Tank	1	62,5	62,5	16,51	3750	3,75	1	100%	63	16,5	3,75	7 pm a 9 am (o 10 am)
Desplume	Escaldadora	1	62,5	62,5	16,51	3750	3,75	1	100%	63	16,5	3,75	7 pm a 9 am (o 10 am)
Evisceración	Esterilizadores (2 pcs)	2	3	6	1,59	360	0,36	2	100%	6	1,6	0,36	7 pm a 9 am (o 10 am)
Evisceración	Puntos para lavado (4 pcs)	4	25	100	26,42	6000	6	2	50%	50	13,2	3,00	12 md a 4pm
Deshuese	Esterilizadores (12 pcs)	12	3	36	9,51	2160	2,16	12	100%	36	9,5	2,16	9 pm a 5 pm aprox
Deshuese	Puntos para lavado (5 pcs)	5	25	125	33,03	7500	7,5	2	40%	50	13,2	3,00	5 pm a 8 pm
Aseo Kimby	Puntos para aseo (20 pcs)	20	25	500	132,10	30000	30	4	20%	100	26,4	6,00	de 3 pm a 10 pm.
Sacrificio	Puntos para lavado (4 pcs)	4	25	100	26,42	6000	6	2	50%	50	13,2	3,00	12 md a 4pm
Desplume	Puntos para lavado (3 pcs)	3	25	75	19,82	4500	4,5	2	67%	50	13,2	3,00	12 md a 4pm
Menudos	Puntos para lavado (9 pcs)	9	25	225	59,45	13500	13,5	3	33%	75	19,8	4,50	12 md a 4pm
Marinado	Puntos para lavado (3 pcs)	3	25	75	19,82	4500	4,5	1	33%	25	6,6	1,50	5 pm a 8 pm
Cortes	Puntos para lavado (5 pcs)	5	25	125	33,03	7500	7,5	2	40%	50	13,2	3,00	5 pm a 8 pm
Empaque	Puntos para lavado (2 pcs)	2	25	50	13,21	3000	3	1	50%	25	6,6	1,50	5 pm a 8 pm
TOTAL Suma Aritmética				1670	441,22	100200	100,2			770	203	46	

Fuente: Consultoría TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.

Los consumos de agua caliente para el proceso, son abastecidos con dos bombas, ambas son modelo 10 DC $1\frac{1}{2}$ – T, marca Franklin Electric, con alimentación eléctrica trifásica en 480 V y 60 Hz, diseñada con un acople de succión de 5,08 centímetros (2 pulgadas) y acople de descarga de 3,81 centímetros (1,5 pulgadas) de diámetro, ambas bombas tienen usuarios diferentes, donde la bomba de la izquierda abastece la demanda requerida por la escaldadora y la bomba derecha suplente las demandas del agua caliente que se requiere en planta para aseo y para esterilización de cuchillos de corte y deshuese en el sector primario (sacrificio y desplume) y secundario (cortes

y deshuese) de la planta en condiciones de operaciones donde el proceso de producción de pollo se encuentra en sus picos máximos de procesado de pollo, sin embargo cuando la producción baja y el proceso de escaldado se detiene, se suplen los requerimientos de agua sólo con una bomba, haciendo maniobras en las llaves de paso que permiten mantener presurizadas todas las líneas de agua caliente en la planta, cuando los consumos de agua caliente disminuyen queda disponible una ventana de mantenimiento mutuamente excluyente de las bombas en caso de ser necesaria una intervención rápida.



*Figura 22. Bombas hidráulicas que abastecen con agua caliente la planta y equipo de escaldado.
Fuente: Elaboración propia, 202*



*Figura 23. Tanque de agua caliente horizontal, ubicado al costado Este del cuarto de calderas.
Fuente: Elaboración propia, 2020.*

El tanque de agua caliente ubicado al costado Este del cuarto de calderas, almacena agua caliente que previamente se le ha inyectado energía calórica recuperada del sistema lavador de gases, el cual permite pasar la temperatura del agua fresca proveniente del pozo que abastece la planta, una temperatura que va desde los 22°C hasta los 90°C según sea la producción de gases calientes en las cocinas tipo Batch marca Anco 5'x16' y la demanda de agua caliente en la planta, por lo cual la energía necesaria para llevar la temperatura del total de volumen requerido hasta los 62°C que se requieren en planta para aseo y 82°C exigidos en el agua caliente utilizada en el proceso de esterilización de cuchillos de corte y deshuese son extraídos actualmente del vapor vivo mediante dos flautas de vapor ubicadas dentro del tanque de agua caliente.

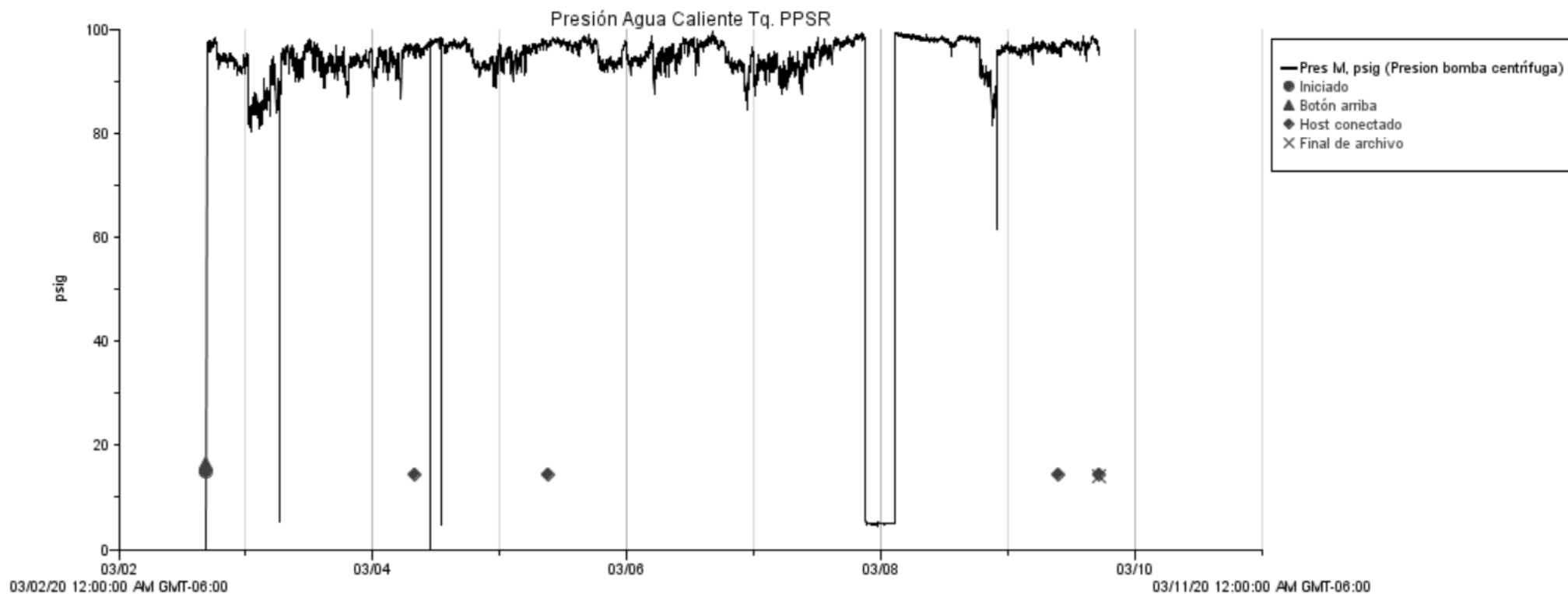


Figura 24. Perfiles de presión en la descarga de las bombas de agua caliente que abastecen planta y escaldado del complejo San Rafael.

Fuente: Elaboración propia, datos tomados con equipo HOBOWare Datalogger, 2020.

Con los datos de consumos de agua caliente en la planta en función de las demandas horarias, se estima el flujo de vapor vivo necesario de la caldera, según las condiciones de temperatura inicial del agua en el tanque y las temperaturas requeridas en el proceso.

Tabla 17. Consumos de vapor requeridos para calentar el agua en función de los horarios de producción en planta.

Área	Usuario o Aplicación	Horario operación	Hora del día																							
			19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sacrificio	Esterilizador (1 pc)	7 pm a 9 am (o 10 am)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Desplume	Escaldadora	7 pm a 9 am (o 10 am)	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Desplume	Escaldadora	7 pm a 9 am (o 10 am)	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Desplume	Deep Tank	7 pm a 9 am (o 10 am)	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Desplume	Escaldadora	7 pm a 9 am (o 10 am)	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Evisceración	Esterilizadores (2 pcs)	7 pm a 9 am (o 10 am)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0
Evisceración	Puntos para lavado (4 pcs)	12 md a 4pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0
Deshuese	Esterilizadores (12 pcs)	9 pm a 5 pm aprox	0	0	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	0	0
Deshuese	Puntos para lavado (5 pcs)	5 pm a 8 pm	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50
Aseo Kimby	Puntos para aseo (20 pcs)	3 pm a 10 pm	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
Sacrificio	Puntos para lavado (4 pcs)	12 md a 4pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0
Desplume	Puntos para lavado (3 pcs)	12 md a 4pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0
Menudos	Puntos para lavado (9 pcs)	12 md a 4pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	75	75	75	0	0	0
Marinado	Puntos para lavado (3 pcs)	5 pm a 8 pm	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25
Cortes	Puntos para lavado (5 pcs)	5 pm a 8 pm	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50
Empaque	Puntos para lavado (2 pcs)	5 pm a 8 pm	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25
Flujo de agua			Lpm	509	359	395	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	36	261	261	261	361	136	250	250
Potencia			kWh	5 424 206,4	3 840 386,4	4 419 612,0	3 363 732,0	3 363 732,0	3 363 732,0	3 363 732,0	3 363 732,0	3 363 732,0	3 363 732,0	3 363 732,0	3 363 732,0	3 363 732,0	3 363 732,0	3 363 732,0	579 225,6	2 954 955,6	2 954 955,6	2 954 955,6	4 010 835,6	1635 105,6	1 055 880,0	1 055 880,0
Flujo de Vapor @1 Barg			kg/h	2 459,3	1 741,2	2 003,8	1 525,1	1 525,1	1 525,1	1 525,1	1 525,1	1 525,1	1 525,1	1 525,1	1 525,1	1 525,1	1 525,1	1 525,1	262,6	1 339,8	1 339,8	1 339,8	1 818,5	741,3	478,7	478,7
Potencia de Caldera			BHP	168,2	119,1	137,1	104,3	104,3	104,3	104,3	104,3	104,3	104,3	104,3	104,3	104,3	104,3	104,3	18,0	91,6	91,6	91,6	124,4	50,7	32,7	32,7

Fuente: Consultoría TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.

Consideraciones de diseño del sistema de recolección de condensados y tanque flash.

La red de recuperación de condensado debe calcularse para tener velocidades que estén en el rango de 35 m/s a 25 m/s para evitar problemas de arrastre y desgaste anormal, además en los cálculos se debe tomar en consideración las pérdidas de presión a lo largo de la ruta crítica, y se debe identificar a los equipos que permiten recuperar su condensado para generar vapor flash.

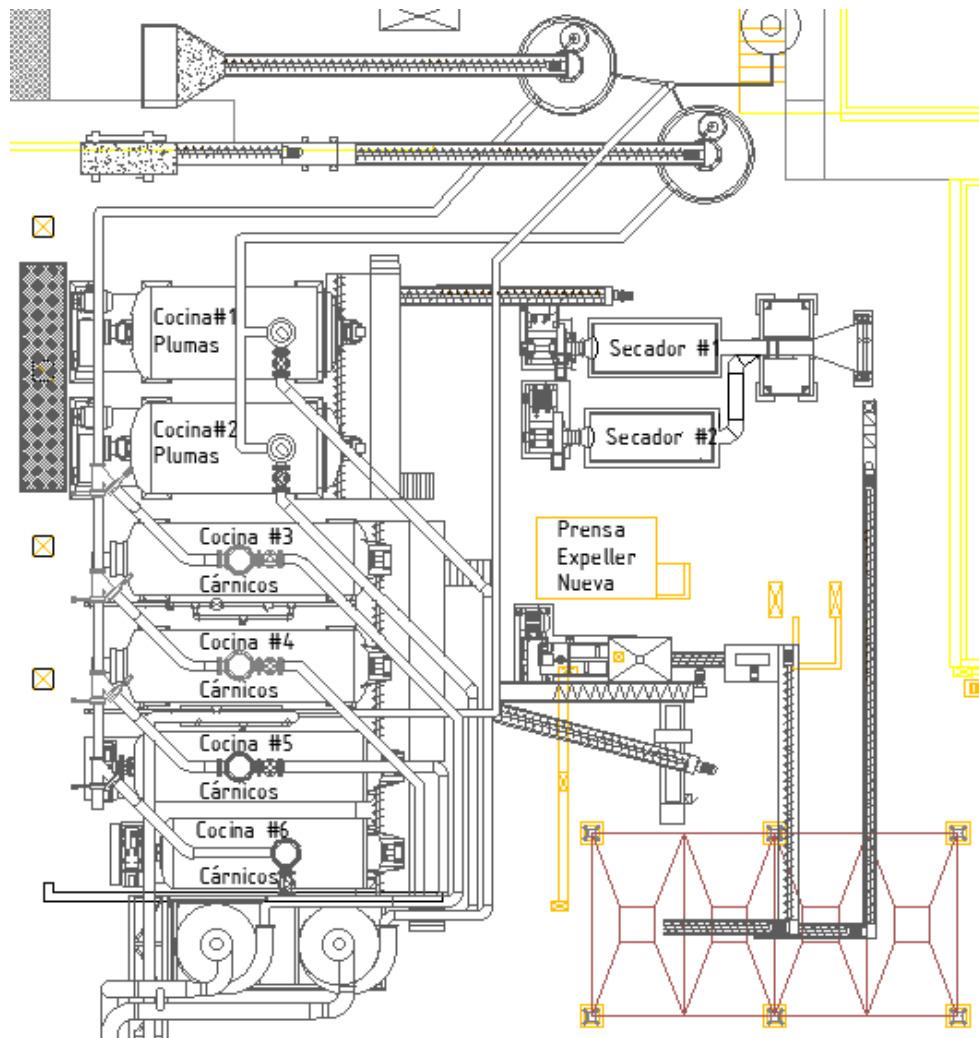


Figura 25. Equipos de render propuestos para recolectar su condensado.
Fuente: Modificación plano interno de Cargill.

Descripción de diferentes escenarios para la recuperación de energía contenida en el vapor flash:

- Sistema de Vapor continúa operando con los sistemas y condiciones actuales:

El sistema actual de generación de vapor con el que está equipada PPSR, puede seguir operando sin mejorar el sistema de recolección de condensados, sin embargo, se desperdicia la oportunidad de aprovechamiento de energía que está presente en el sistema de vapor de la planta al incorporar un sistema auxiliar de recuperación de energía y agua contenida en el vapor flash que actualmente está siendo liberado al ambiente sin ningún aprovechamiento para el proceso de producción.



*Figura 26. Pluma de vapor flash liberado al ambiente actualmente.
Fuente: Elaboración propia, 2020.*

La gestión adecuada de la energía dentro del proceso de producción de Cargill se inclina por la aplicación de normas de gestión responsable de la energía dentro de la industria tal como la norma ISO 50001, que promueve el uso eficiente de la energía y ayuda a las

organizaciones a mitigar el impacto ambiental y a la vez a reducir costos de operación, logrando enlazar la actividad económica principal de la industria con la conservación del medio ambiente, por lo tanto continuar con las operaciones de producción con las condiciones actuales del sistema de recuperación de condensados del área de Rendering, resulta contrapuesto con políticas internas como el Manual de Gestión de Energías y Recursos Naturales de Cargill.

- Implementación del proyecto de recuperación de energía del vapor flash con utilización de los condensados de todos los equipos del área de Rendering:

El área de Rendering, la energía contenida en los condensados, que al despresurizarse el condensado se libera al ambiente un porcentaje de energía y agua en forma de vapor flash, es posible canalizar todos los condensados al tanque de retorno de condensados que actualmente está siendo utilizado para los condensados de las cocinas, con el objetivo de obtener la mayor cantidad de condensados posible para recuperar la mayor cantidad de energía contenida, para aprovechar esta energía en procesos paralelos al área del Rendering o bien inyectar ese calor directamente a la caldera, lo que permitiría reducir el cambio de temperatura en el agua de alimentación, reduciendo así la energía requerida para generar vapor a las condiciones de operaciones requeridas por el proceso, y consecuentemente reduciendo la energía requerida del combustible fósil, reflejándose en una reducción del consumo de Búnker-C, y su monto económico facturado mensualmente, generando un ahorro visible, sin embargo, deben considerarse los costos de diseño de un sistema de recuperación de condensados que permita unir todos los condensados en un mismo punto para tomarlos y extraer el vapor flash en un tanque que permita aprovechar su energía en otros procesos.

Se debe considerar que el recuperado del vapor flash abastece completamente el sistema para el cual se está recuperando la energía cuando el sistema de generación de vapor se encuentra operando a plena carga, en las condiciones que el sistema de generación de vapor está operando en bajo fuego con mínima demanda debe aprovisionarse de vapor vivo directo de la caldera para continuar su operación. Como parte de una investigación previa a un proyecto de inversión, debe considerarse el tiempo de retorno de inversión, y bajo este panorama específico debe de ser analizada la posibilidad de obtener todos los condensados en un mismo punto, haciendo una conexión mecánica entre los ductos actuales y el tanque de retorno de condensados que actualmente opera con los condensados de las calderas.

- Implementación del proyecto de recuperación de energía del vapor flash recuperación de condensados de las 6 cocinas 5'x16' Anco tipo batch:

Se debe considerar el escenario donde solo sea viable recuperar el condensado en las 6 cocinas ubicadas en el área de Render, pues los demás equipos representan menos de 3% de la demanda de vapor de la planta y se encuentran a mayor distancia del punto de instalación del tanque flash (contiguo al tanque de recuperación de condensados de las cocinas del área de Rendering), concentrándose la mayoría de vapor flash en las cocedoras de plumas y cárnicos, las cuales entre ellas suman el 97% del total de vapor consumido en render cuando el sistema de vapor del render se encuentra en su pico máximo de demanda de vapor.

- Analizar el posible panorama de una reducción en la demanda de pollo procesado, que representa una reducción en la cantidad de energía obtenida del vapor flash.

En el escenario hipotético planteado para el vapor flash, el total recuperado se reduce debido a una hipotética disminución en la demanda de carne de pollo. Se debe considerar esta opción pues se espera que la inversión inicial se mantenga según sea el alcance, y los retornos de inversión se vean afectados pues la energía recuperada sea inferior.

Análisis financiero del proyecto:

Para el análisis financiero del proyecto es necesario cuantificar el costo de la energía que se escapa en el vapor flash para poder comparar el ahorro esperado en cada escenario propuesto, con respecto a la condición actual del sistema.

Se plantean tres diferentes escenarios de inversión y ahorro, para analizar la viabilidad y factibilidad de cada escenario, para decidir finalmente cuál es el panorama de inversión que proyecta mejores rendimientos económicos y ambientales que beneficieren en el proceso de producción. Estos escenarios de inversión y ahorro en el sistema de retornos de condensados del área de cocinas del render, y se incluyen modificaciones a los sistemas actuales de retornos de condensado instalados en sitio, con el objetivo de aumentar la cantidad energía colectada y aprovechada, sin embargo al ser necesario modificar algunos ductos y sistemas de recolección de condensados de forma paulatina según sea el alcance de recolección y aprovechamiento de esta energía almacenada en el vapor flash, se estima una mayor inversión inicial conforme se aumenta el alcance ambiental, que debe ser considerada mediante indicadores financieros, y comparar una con la otra para analizar cuál opción es la más beneficiosa para la empresa tanto a nivel financiero como a nivel de descarbonización.

Es provechoso conocer cómo se pueden comportar estos tres escenarios de inversión propuestos bajo diferentes panoramas de producción en la planta de proceso, contemplando un primer panorama con los datos de producción registrados en el año 2019, y dos panoramas hipotéticos adicionales, donde en el primer panorama se visualice cómo se comportaría el retorno de la inversión bajo demandas de producción elevadas, partiendo de un incremento en la producción registrada en el 2019, y el segundo panorama analizando un caso opuesto al primer panorama, donde se visualice el comportamiento de los retornos de inversión bajo una situación de disminución de la producción debido a situaciones ajenas a la empresa (Desastres naturales, situaciones económicas adversas a nivel país, limitaciones de producción por permisos sanitarios o permisos operacionales (MAG, Ministerio de Salud, MINAE, entre otros).

Los indicadores financieros utilizados para analizar y determinar la viabilidad y factibilidad de este proyecto, permiten tomar una decisión de inversión correcta bajo los diferentes escenarios y panoramas planteados, con alcances y limitaciones establecidas previo a la ejecución de la obra, lo que facilita rastrear el beneficio proyectado así como proyectar el período de retorno de inversión, y contemplar el momento donde se generan excedentes económicos una vez se haya recuperado la inversión inicial, para mejorar condiciones y oportunidades laborales dentro de la empresa, como parte del proceso de mejorar continua.

Para determinar los gastos que representa la pluma de vapor flash que se libera al ambiente bajo la condición de operación en la que se encuentra el sistema de retorno de condensados actualmente en el área de Render, es necesario trasladar la energía liberada en forma de vapor flash, a energía contenida en el combustible del cuál se extrae, en este caso particular se trata de combustible tipo Búnker-C y sumarle el costo de cada metro cúbico de agua que se consume en la caldera para producir el vapor que después se libera en forma de vapor flash por el venteo del tanque de condensados.

El vapor flash liberado, aumenta cuando el cambio en la presión del condensado es mayor al finalizar el proceso, por lo cual cada escenario de inversión y ahorro propuesto se enfoca en ir reduciendo esa diferencia entre las presiones a las cuales se libera el condensado a la atmósfera después de haber sido utilizado en el proceso de renderizado, o bien según sea el escenario, retornar el condensado a un equipo presurizado que sea capaz de deaerar el agua fresca y condensado, para ingresarla nuevamente al sistema de calderas, lo que permite ir agotando la energía contenida en el condensado previo al venteo del sistema.

En la tabla 18 se observa como el porcentaje de vapor flash se va reduciendo cuando se reduce la diferencia de presiones

Tabla 18. Porcentaje de vapor flash liberado en función del cambio de presión del condensado recuperado.

Vapor Flash Generado		
% vapor Flash desde 6,5 barg a 0barg	13,32	%
% vapor Flash desde 6,5 barg a 1barg	9,5	%
% vapor Flash desde 1 barg a 0 barg	4,1	%
% vapor Flash desde 1 barg a 0,5 barg	1,8	%

Fuente: Elaboración Propia.

11.1 Costo estimado en la liberación de vapor flash al ambiente en el sistema de recuperación de condensados actual.

El sistema de recuperación de condensados actual, pasa la presión del condensado proveniente de los equipos de cocimiento de plumas, cocimiento de cárnicos y secado de plumas desde una presión manométrica de 650 kPa (6,5 barG) hasta 0 kPa (0 barG) en un tiempo muy corto, provocando que el condensado que proviene a mayor presión con capacidad de soportar un mayor contenido de entalpía, al reducir la presión, y seguir almacenando la entalpía de la presión mayor, no tiene las capacidades físicas para contener este exceso de calor o energía, y debe de canalizar esta energía en un cambio de fase, pasando de líquido a gaseoso en forma de vapor flash.

El porcentaje de vapor flash que se libera al ambiente en la Planta de Producción de Pollo de San Rafael de Alajuela, donde la presión atmosférica es de 91 kPa (0,91 barA) se calcula de la siguiente manera:

Tabla 19. Propiedades termodinámicas del agua saturada.

Alajuela Patm 91 kPa (0,91 barA)					
P.inicial (Atm)	P.inicial (Manométrica)	Energía Cond. (hf)		Entalp evap (Hfg.)	
741 kPa (7,41 barA)	650 kPa (6,5 barG)	708,6314	kJ/kg	2056,21	kJ/kg
Pf	Pf	Energía Cond.(hf)		Entalp evap (Hfg.)	
191 kPa (1,91 barA)	100 kPa (1 barG)	499,9624	kJ/kg	2205,6	kJ/kg
Pf	Pf	Energía Cond.(hf)		Entalp evap (Hfg.)	
91 kPa (0,91 barA)	0 kPa (0 barG)	407,19	kJ/kg	2263,896	kJ/kg
Pf	Pf	Energía Cond.(hf)		Entalp evap (Hfg.)	
161 kPa (1,61 barA)	70 kPa (0,7 barG)	477,4676	kJ/kg	2219,292	kJ/kg
Pf	Pf	Energía Cond.(hf)		Entalp evap (Hfg.)	
141 kPa(1,41 barA)	50 kPa (0,5 barG)	460,75	kJ/kg	2226	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia, 2020.

$$\%Vapor\ Flash = \frac{Energía\ condensado\ alta\ presión\ (hf) - Energía\ condensado\ baja\ presión\ (hf)}{Entalpía\ de\ evaporación\ del\ condensado\ de\ baja\ presión\ (hfg)} * 100$$

Ecuación 2. Fórmula general para calcular el porcentaje de vapor flash liberado.

Fuente: Elaboración propia.

Entonces se tiene para el caso actual una producción de vapor flash teórica de un 13,32% como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\%Vapor\ Flash\ condicion\ actual = \frac{708,631 - 407,19}{2263,896} * 100 = 13,32\%$$

*Ecuación 3. Vapor Flash liberado actualmente en la pluma de vapor.
Fuente: Elaboración Propia.*

Ahora bien, conociendo cual es la razón del condensado que se evapora cuando se despresuriza a 0 kPa manométrico (0 barG), lo que queda por averiguar es cuánto condensado se produce a 650 kPa (6,5barG) dentro del proceso, para luego así determinar cuánto es el volumen total de agua evaporada en vapor flash, para transformar la energía almacenada en el condensado en energía por kilogramo de vapor de vapor flash, y llevarlo a la energía requerida por la caldera en forma de bunker para producir cada kilogramo de vapor.

El consumo de vapor anual se estima a partir de un balance de energía partiendo de los datos de consumo de bunker en el área de calderas, estos datos se manejan en toneladas de vapor consumidas por año, y se calculan con las siguientes ecuaciones.

$$Ton.Vap\ Cons\ Render = \frac{Gen \frac{Vapor\ kg}{litro\ búnker} * Total\ litros\ búnker * razón\ de\ consumo\ en\ el\ render}{1000}$$

*Ecuación 4. Toneladas de vapor consumidos por año en el área de Render.
Fuente: Elaboración Propia.*

$$Vapor\ Consumido\ en\ el\ Render(Ton/año) = \frac{14,53 \left(\frac{kg}{litro} \right) * 2874143,5(litros/año) * 77,72\%}{1000}$$

$$Vapor\ Consumido\ en\ el\ Render \left(\frac{Ton}{año} \right) = 32\ 456,9 \frac{Ton}{año}.$$

*Ecuación 5. Toneladas de vapor consumidos en el área de Render anualmente a partir de un balance de energía.
Fuente: Elaboración Propia.*

Ahora bien, por conservación de la energía y masa, se sabe que por cada kilogramo de vapor vivo que ingrese al sistema, se debe recolectar un kilogramo de condensado a la salida del sistema.

Por lo tanto, se procede a separar la proporción de vapor que se retorna como condensado y el complemento de esta proporción que se emite al ambiente en forma estado gaseoso o vapor flash, como producto de la despresurización alcanzada en el tanque de retornos de condensados, como se muestra en la figura 28.

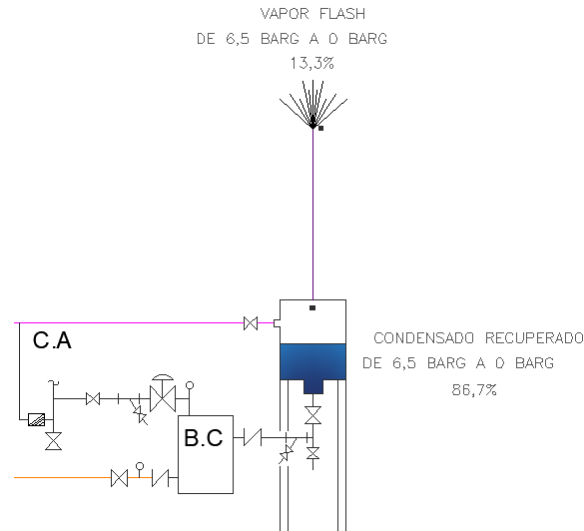


Figura 27. Sistema de recolección de condensados actual en el área de render.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{CondensadoRetornado} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = \text{VaporConsumidoRender} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (100\% - \% \text{vaporFlash})$$

$$\text{CondensadoRetornado} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = 32\,456,9 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (100 - 13,32)\% = 28\,135,199 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)$$

Ecuación 6. Cálculo del retorno de condensados en toneladas de vapor por año.

Fuente: Elaboración Propia.

$$\text{PérdidaVapFlash} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = \text{VaporConsumidoRender} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (\% \text{vaporFlash})$$

$$PérdidaVapFlash \left(\frac{Ton}{año} \right) = 32\,456,9 \left(\frac{Ton}{año} \right) * (13,32\%) = 4321,69 \left(\frac{Ton}{año} \right)$$

Ecuación 7. Cálculo de las pérdidas energéticas emitidas al ambiente en forma de vapor flash.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora que ya se conoce cuál es la relación entre el vapor flash y el condensado recolectado, se puede estimar la cantidad de energía perdida por año en la pluma de vapor flash, para proceder a estimar el costo de esta energía en colones por año y en dólares por año como se muestra paso a paso en las siguientes ecuaciones.

$$PérdidaEnergéticaVapFlash \left(\frac{MJ}{año} \right) = Entalpía\,Vap.\,Flash \left(\frac{kJ}{kg} \right) * VapFlashliberado \left(\frac{Ton}{año} \right)$$

$$PérdidaEnergéticaVapFlash \left(\frac{MJ}{año} \right) = 2671,086 \left(\frac{kJ}{kg} \right) * 4321,69 \left(\frac{Ton}{año} \right) = 11\,543\,597 \left(\frac{MJ}{año} \right)$$

Ecuación 8. Pérdidas energéticas que representan el vapor flash liberado al ambiente.

Fuente: Elaboración Propia.

$$Costo\,Energía.\,Perd = \left(\frac{PérdidaEnergéticaVapFlash \left(\frac{MJ}{año} \right) * CostoEnergéticoCaldera \left(\frac{Colones}{GJ} \right)}{1000} \right)$$

$$Costo\,Energía.\,Perd = \left(\frac{11\,543\,597 \left(\frac{MJ}{año} \right) * 7953,2 \left(\frac{Colones}{GJ} \right)}{1000} \right) = 91\,808\,536 \frac{Colones}{año}.$$

Ecuación 9. Costo económico anual que representa el vapor flash liberado al ambiente.

El costo del agua perdida en el vapor flash, se calcula multiplicando flash liberado por el costo del metro cúbico de agua extraído.

$$Costo\,Agua\,Perdida = \left(Volumen\,de\,agua\,anual \left(\frac{m^3}{año} \right) * Costo\,Extracción\,agua \left(\frac{Colones}{m^3} \right) \right)$$

$$Costo\,Agua\,Perdida = \left(4\,278,74 \left(\frac{m^3}{año} \right) * 1139,99 \left(\frac{Colones}{m^3} \right) \right) = 4\,877\,456 \frac{Colones}{año}$$

Ecuación 10. Costo económico anual que representa la extracción de agua para producir el vapor flash que se libera al ambiente bajo las condiciones actuales.
Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene un costo total de la energía de 169 624,5 Dólares o bien un costo total en colones de 96 685 991 colones por año mediante la siguiente ecuación:

Costo Total anual debido al vapor flash liberado = Costo Agua Perdida + Costo Energía. Perd.

Costo Total anual debido al vapor flash liberado = 4 877 456 + 91 808 536 = 96 685 991 $\frac{\text{Colones}}{\text{año}}$

Ecuación 11. Costo total anual debido a la energía del búnker y agua necesarias en las condiciones operacionales actuales.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Resumen de cálculos del gasto que representa la fuga de vapor flash presente en el sistema de vapor en el área de Rendering. Planta de producción San Rafael (Pipasa).

Situación presente en el sistema de vapor en el área del Render		
Consumo anual de vapor	32 456,89	Ton/año
Presión de vapor de proceso	650,00	kPa
Presión de vapor de retorno	0,00	kPa
Formación de vapor flash a 0,91bara	13,32	%
Condensado retornado	28 135,20	Ton/año
Pérdida anual de vapor flash	4 321,69	Ton/año
Entalpía del vapor flash	2 671,09	kJ/kg
Calor Latente del vapor flash	2 263,90	kJ/kg
Pérdida de energía Anual	11 543 596,99	MJ/año
Costo de la pérdida de energía por vapor flash	91 808 535,60	Colones/año
	161 067,61	Dólares/año
Agua perdida	4 278,47	m3/año
	4 278 469,89	l/año
Costo de la pérdida de agua en el flash	4 877 455,67	Colones/año
	8 556,94	Dólares/año
Costo de la energía perdida al ambiente	96 685 991,27	Colones/año
	169 624,55	Dólares/año

Fuente: Elaboración propia.

11.2 Ahorro económico debido a la energía recuperada bajo el primer escenario de inversión (Escenario #1).

El primer escenario de inversión para este proyecto propone realizar una pequeña modificación al sistema de recolección de condensados, presurizando los condensados a 100 kPa manométricos (1 barG), con el objetivo de reducir el vapor flash liberado, y como consecuencia aumentar la cantidad de condensado que se retorna a la caldera cargado en energía calórica, al presurizar el condensado a 100 kPa manométricos (1 barG), el vapor flash liberado a la atmósfera pasa de ser de 13,32% a un 9,5%, reduciendo la liberación de vapor flash en un 3,82%. Bajo este primer panorama de ahorro el condensado recuperado es un 90,5%, lo cual representa un 3,5% más de lo que se recolecta actualmente, por lo cual se tienen beneficios económicos y ambientales que se muestran a continuación.

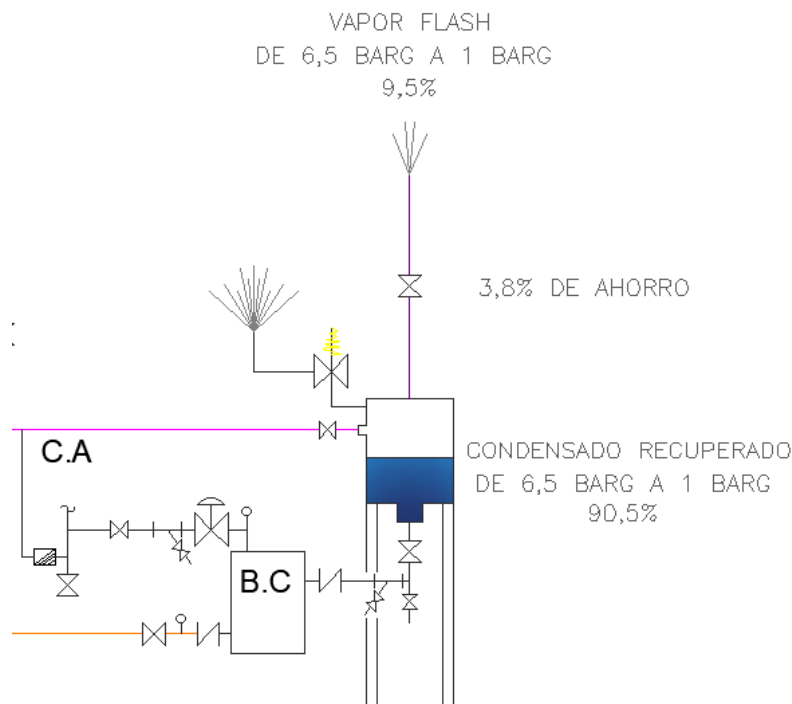


Figura 28. Primer escenario de ahorro propuesto, al reestructurar el sistema de recolección de condensados en el área de Render.

Fuente: Modificación realizada con datos de Cargill y Termoeléctrica Ingeniería SA, 2020.

$$\text{CondensadoRetornado} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = \text{VaporConsumidoRender} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (100\% - \% \text{vaporFlash})$$

$$\text{CondensadoRetornado} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = 32\,456,9 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (100 - 9,5)\% = 29\,386,2 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)$$

Ecuación 12. Cálculo del retorno de condensados en toneladas por año para el escenario #1.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{PérdidaVapFlash} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = \text{VaporConsumidoRender} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (\% \text{vaporFlash})$$

$$\text{PérdidaVapFlash} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = 32\,456,9 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (9,5\%) = 3070,7 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)$$

Ecuación 13. Cálculo de las pérdidas energéticas emitidas al ambiente en forma de vapor flash bajo el escenario #1.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{PérdidaEnergéticaVapFlash} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right) = \text{Entalpía Vap. Flash} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) * \text{VapFlashliberado} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)$$

$$\text{PérdidaEnergéticaVapFlash} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right) = 2671,086 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) * 3070,7 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = 8\,202\,116,1 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right)$$

Ecuación 14. Pérdidas energéticas que representan el vapor flash liberado al ambiente bajo el escenario de ahorro #1.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Costo Energía. Perd} = \left(\frac{\text{PérdidaEnergéticaVapFlash} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right) * \text{CostoEnergéticoCaldera} \left(\frac{\text{Colones}}{\text{GJ}} \right)}{1000} \right)$$

$$\text{Costo Energía. Perd} = \left(\frac{8\,202\,116,1 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right) * 7953,2 \left(\frac{\text{Colones}}{\text{GJ}} \right)}{1000} \right) = 68\,698\,667 \frac{\text{Colones}}{\text{año}}.$$

Ecuación 15. Costo de energía perdida en la liberación de vapor flash al ambiente bajo el escenario de ahorro #1.

fuentes: Elaboración propia.

$$\text{Costo Agua Perdida} = \left(\text{Volumen de agua anual} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) * \text{Costo Extracción agua} \left(\frac{\text{Colones}}{\text{m}^3} \right) \right)$$

$$\text{Costo Agua Perdida} = \left(3\,040,0 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) * 1139,99 \left(\frac{\text{Colones}}{\text{m}^3} \right) \right) = 3\,465\,597 \frac{\text{Colones}}{\text{año}}$$

Ecuación 16. Costo económico debido a la extracción de agua de pozo para generar el vapor flash que se libera bajo el escenario de ahorro #1.

Fuente: Elaboración propia.

Costo Total anual debido al vapor flash liberado = Costo Agua Perdida + Costo Energía. Perd.

Costo Total anual debido al vapor flash liberado Escenario 1 = 3 465 597 + 68 698 66

$$= 68\,698\,667 \frac{\text{Colones}}{\text{año}}$$

Ecuación 17. Costo anual debido al vapor flash liberado bajo el escenario de ahorro #1

Fuente: Elaboración propia.

Ahorro Escenario 1

= Costo Total anual debido al vapor flash liberado

– Costo Total anual debido al vapor flash liberado Escenario 1

$$\text{Ahorro Escenario \#1} = 96\,685\,991 - 68\,698\,667 = 27\,987\,324 \frac{\text{Colones}}{\text{Año}}$$

Ecuación 18. Ahorros anuales obtenidos bajo el escenario de ahorro #1.

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla resumen muestra los datos obtenidos a partir de las ecuaciones desarrolladas previamente.

Tabla 21. Tabla resumen de los ahorros en energía y dinero obtenidos a partir del primer escenario de inversión.

Escenario de ahorro #1. Presurizar el retorno de condensado.		
Consumo anual de vapor	32456,9	Ton/año
Presión de vapor de proceso	650	kPa
Presión de vapor de retorno	100	kPa
Formación de vapor flash a 0,9	9,5	%
Condensado retornado	29386,2	Ton/año
Pérdida anual de vapor flash	3070,7	Ton/año
Entalpía del vapor flash	2671,1	kJ/kg
Calor Latente del vapor flash	2263,9	kJ/kg
Pérdida de energía Anual	8202116,1	MJ/año
Costo de la pérdida de energía por vapor flash	₡65 233 070	Colones/año
	\$ 114 444,0	Dólares/año
Agua perdida	3040,0	m3/año
	3039997,6	l/año
Costo de la pérdida de agua en el flash	₡3 465 597	Colones/año
	\$ 6 080,0	Dólares/año
Costo de la energía perdida al ambiente	₡68 698 667	Colones/año
	\$ 120 524,0	Dólares/año

Fuente: Elaboración propia.

11.3 Ahorro económico debido a la energía recuperada bajo el segundo escenario de inversión (Escenario #2).

El escenario de ahorro #2 presenta una ligera variación con respecto al anterior, ya que el vapor flash presurizado en el tanque flash (T.F) ahora será utilizado para calentar el agua caliente mediante un intercambiador de calor de placas que será alimentado con vapor flash mediante la línea morada, en los anexos se muestran el diagrama completo para su debida visualización. El intercambiador propuesto debe cumplir con condiciones de calidad operativa, ya que el agua caliente es utilizada por operarios asociados a la empresa (Cargill) y por motivos de seguridad ocupacional el agua caliente no debe exceder 65°C de temperatura, por lo cual el intercambiador de calor seleccionado debe contar con una protección contra el sobre calentamiento.

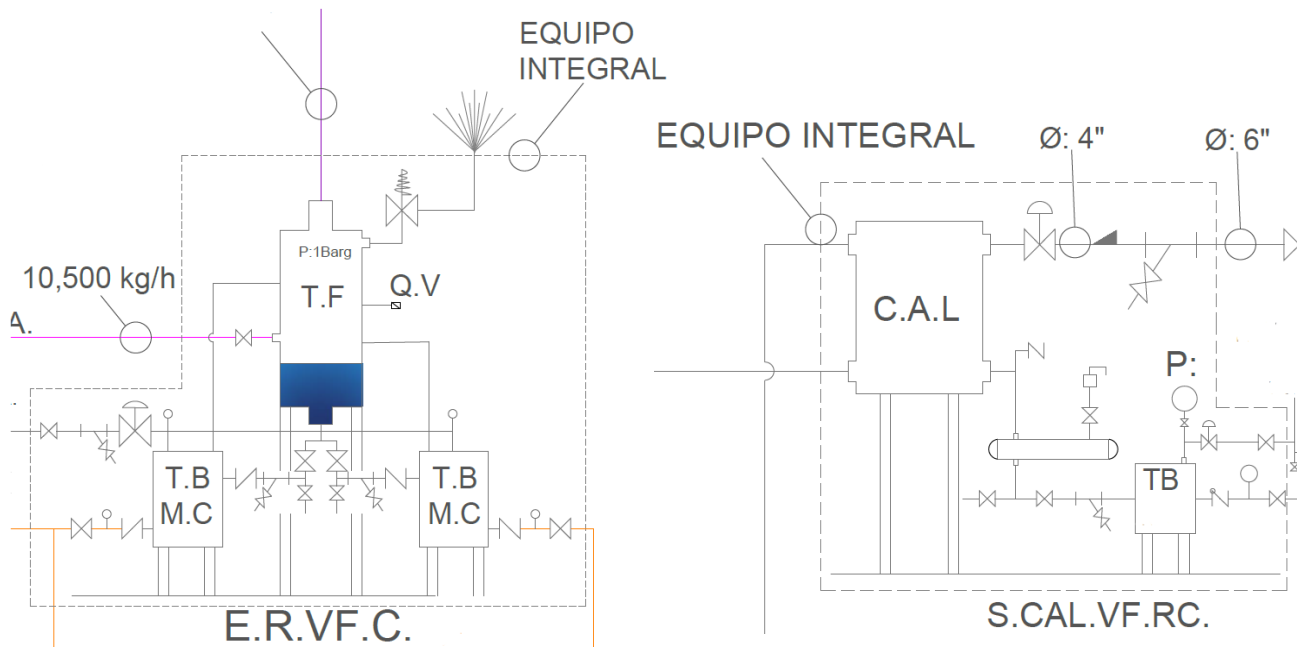


Figura 29. Sistema de recolección y presurización de vapor flash y el sistema de calentamiento de agua con el vapor flash recolectado de izquierda a derecha respectivamente.

Fuente: TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.

$$\text{CondensadoRetornado} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = \text{VaporConsumidoRender} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (100\% - \% \text{vaporFlash})$$

$$\text{CondensadoRetornado} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = 32\,456,9 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (100 - 4,1)\% = 31\,126,8 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)$$

Ecuación 19. Cálculo del retorno de condensados en toneladas por año para el escenario #2.
Fuente: Elaboración propia.

$$PérdidaVapFlash \left(\frac{Ton}{año} \right) = VaporConsumidoRender \left(\frac{Ton}{año} \right) * (\%vaporFlash)$$

$$PérdidaVapFlash \left(\frac{Ton}{año} \right) = 32\,456,9 \left(\frac{Ton}{año} \right) * (4,1\%) = 1\,330,1 \left(\frac{Ton}{año} \right)$$

Ecuación 20. Cálculo de las pérdidas energéticas emitidas al ambiente en forma de vapor flash bajo el escenario #2.
Fuente: Elaboración propia.

$$PérdidaEnergéticaVapFlash \left(\frac{MJ}{año} \right) = Entalpía\,Vap.\,Flash \left(\frac{kJ}{kg} \right) * VapFlashliberado \left(\frac{Ton}{año} \right)$$

$$PérdidaEnergéticaVapFlash \left(\frac{MJ}{año} \right) = 2671,086 \left(\frac{kJ}{kg} \right) * 1\,330,1 \left(\frac{Ton}{año} \right) = 3\,552\,687,8 \left(\frac{MJ}{año} \right)$$

Ecuación 21. Pérdidas energéticas que representan el vapor flash liberado al ambiente bajo el escenario de ahorro #2.
Fuente: Elaboración propia.

$$Costo\,Energía.\,Perd = \left(\frac{PérdidaEnergéticaVapFlash \left(\frac{MJ}{año} \right) * CostoEnergéticoCaldera \left(\frac{Colones}{GJ} \right)}{1000} \right)$$

$$Costo\,Energía.\,Perd = \left(\frac{3\,552\,687,8 \left(\frac{MJ}{año} \right) * 7953,2 \left(\frac{Colones}{GJ} \right)}{1000} \right) = 29\,756\,336 \frac{Colones}{año}.$$

Ecuación 22. Costo de energía perdida en la liberación de vapor flash al ambiente bajo el escenario de ahorro #2.
fuente: Elaboración propia.

$$Costo\,Agua\,Perdida = \left(Volumen\,de\,agua\,anual \left(\frac{m^3}{año} \right) * Costo\,Extracción\,agua \left(\frac{Colones}{m^3} \right) \right)$$

$$Costo\,Agua\,Perdida = \left(1\,316,8 \left(\frac{m^3}{año} \right) * 1139,99 \left(\frac{Colones}{m^3} \right) \right) = 1\,501\,099 \frac{Colones}{año}$$

Ecuación 23. Costo económico debido a la extracción de agua de pozo para generar el vapor flash que se libera bajo el escenario de ahorro #2.
Fuente: Elaboración propia.

Costo Total anual debido al vapor flash liberado = Costo Agua Perdida + Costo Energía. Perd.

$$Costo\,Total\,anual\,debido\,al\,vapor\,flash\,liberado\,Escenario\,2 = 1\,501\,099 + 28\,255\,237$$

$$= 29\,756\,336 \frac{Colones}{año}$$

Ecuación 24. Costo anual debido al vapor flash liberado bajo el escenario de ahorro #2
Fuente: Elaboración propia.

Ahorro Escenario 2

= Costo Total anual debido al vapor flash liberado

– Costo Total anual debido al vapor flash liberado Escenario 2

$$\text{Ahorro Escenario \#2} = 96\,685\,991 - 29\,756\,336 = 66\,929\,656 \frac{\text{Colones}}{\text{Año}}$$

Ecuación 25. Ahorros anuales obtenidos bajo el escenario de ahorro #2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla resumen con los datos calculados a partir de las ecuaciones desarrolladas para el escenario de inversión #2.

Tabla 22. Tabla resumen de los ahorros en energía y dinero obtenidos a partir del segundo escenario de inversión.

Escenario de ahorro #2. Presurizar el retorno de condensado y aprovechar el vapor flash en intercambiadores de calor.		
Consumo anual de vapor	32456,9	Ton/año
Presión de vapor de proceso	100	kPa
Presión de vapor de retorno	0	kPa
Formación de vapor flash a 0,9	4,1	%
Condensado retornado	31126,8	Ton/año
Pérdida anual de vapor flash	1330,1	Ton/año
Entalpía del vapor flash	2671,1	kJ/kg
Calor Latente del vapor flash	2263,9	kJ/kg
Pérdida de energía Anual	3552687,8	MJ/año
Costo de la pérdida de energía por vapor flash	¢28 255 237	Colones/año
	\$ 49 570,6	Dólares/año
Agua perdida	1316,8	m3/año
	1316753,2	l/año
Costo de la pérdida de agua en el flash	¢1 501 099	Colones/año
	\$ 2 633,5	Dólares/año
Costo de la energía perdida al ambiente	¢29 756 336	Colones/año
	\$ 52 204,1	Dólares/año

Fuente: Elaboración propia.

11.4 Ahorro económico debido a la energía recuperada bajo el tercer escenario de inversión (Escenario #3).

Para el tercer escenario analizado, se procede a añadirle al segundo escenario un sistema desaireador de agua de alimentación de la caldera que opera con el vapor de baja presión obtenido en el vapor flash capturado en el tanque flash, por lo cual, en este escenario, se logra agotar o extraer la energía contenida en el vapor flash hasta volver a introducir la

energía contenida en el vapor flash, al agua de reposición de la caldera en el nuevo equipo desaireador.

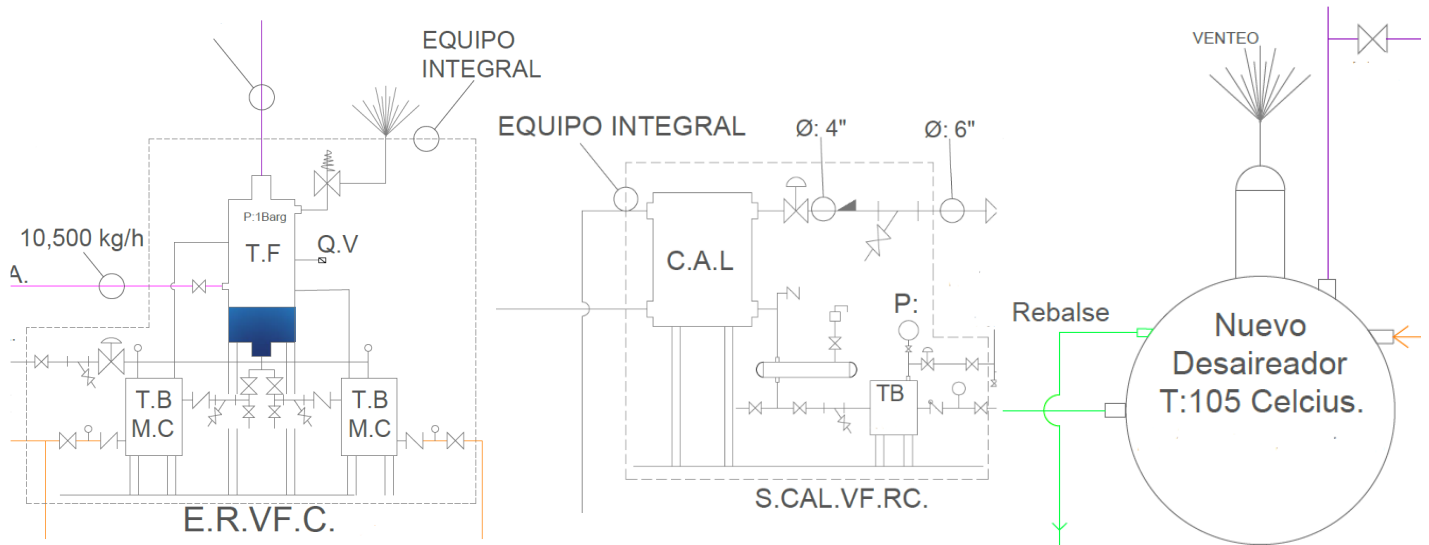


Figura 30. Escenario de ahorro #3 al implementar un tanque de recolección de vapor flash, más dos usuarios de baja presión que consuman el vapor flash capturado.
Fuente: TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.

$$\text{CondensadoRetornado} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = \text{VaporConsumidoRender} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (100\% - \% \text{vaporFlash})$$

$$\text{CondensadoRetornado} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = 32\,456,9 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (100 - 1,8)\% = 31\,885,1 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)$$

Ecuación 26. Cálculo del retorno de condensados en toneladas por año para el escenario #3.
Fuente: Elaboración propia.

$$\text{PérdidaVapFlash} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = \text{VaporConsumidoRender} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (\% \text{vaporFlash})$$

$$\text{PérdidaVapFlash} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = 32\,456,9 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) * (1,8\%) = 571,7 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)$$

Ecuación 27. Cálculo de las pérdidas energéticas emitidas al ambiente en forma de vapor flash bajo el escenario #3.
Fuente: Elaboración propia.

$$\text{PérdidaEnergéticaVapFlash} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right) = \text{Entalpía Vap. Flash} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) * \text{VapFlashliberado} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)$$

$$\text{PérdidaEnergéticaVapFlash} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right) = 2671,086 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) * 571,7 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = 1\,527\,189,7 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right)$$

Ecuación 28. Pérdidas energéticas que representan el vapor flash liberado al ambiente bajo el escenario de ahorro #3.
Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Costo Energía. Perd} = \left(\frac{\text{Pérdida Energética Vap Flash} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right) * \text{Costo Energético Caldera} \left(\frac{\text{Colones}}{\text{GJ}} \right)}{1000} \right)$$

$$\text{Costo Energía. Perd} = \left(\frac{1\,527\,189,7 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right) * 7953,2 \left(\frac{\text{Colones}}{\text{GJ}} \right)}{1000} \right) = 12\,146\,045 \frac{\text{Colones}}{\text{año}}.$$

Ecuación 29. Costo de energía perdida en la liberación de vapor flash al ambiente bajo el escenario de ahorro #3.
fuente: Elaboración propia.

$$\text{Costo Agua Perdida} = \left(\text{Volumen de agua anual} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) * \text{Costo Extracción agua} \left(\frac{\text{Colones}}{\text{m}^3} \right) \right)$$

$$\text{Costo Agua Perdida} = \left(566 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) * 1139,99 \left(\frac{\text{Colones}}{\text{m}^3} \right) \right) = 645\,275 \frac{\text{Colones}}{\text{año}}$$

Ecuación 30. Costo de energía perdida en la liberación de vapor flash al ambiente bajo el escenario de ahorro #3.
fuente: Elaboración propia.

Costo Total anual debido al vapor flash liberado = Costo Agua Perdida + Costo Energía. Perd.

Costo Total anual debido al vapor flash liberado Escenario 2 = 645 275 + 12 146 045

$$= 12\,791\,321 \frac{\text{Colones}}{\text{año}}$$

Ecuación 31. Costo anual debido al vapor flash liberado bajo el escenario de ahorro #3
Fuente: Elaboración propia.

Ahorro Escenario #3

= Costo Total anual debido al vapor flash liberado

– Costo Total anual debido al vapor flash liberado Escenario #3

$$\text{Ahorro Escenario \#3} = 96\,685\,991 - 12\,791\,321 = 83\,894\,670 \frac{\text{Colones}}{\text{Año}}$$

Ecuación 32. Ahorros anuales obtenidos bajo el escenario de ahorro #2.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. . Tabla resumen de los ahorros en energía y dinero obtenidos a partir del tercer escenario de inversión.

Escenario de ahorro #3. Presurizar el retorno de condensado y aprovechar el vapor flash en un intercambiador de calor y deareador.		
Consumo anual de vapor	32456,9	Ton/año
Presión de vapor de proceso	1	barG
Presión de vapor de retorno	0,5	barG
Formación de vapor flash a 0,9	1,8	%
Condensado retornado	31885,1	Ton/año
Pérdida anual de vapor flash	571,7	Ton/año
Entalpía del vapor flash	2671,1	kJ/kg
Calor Latente del vapor flash	2263,9	kJ/kg
Pérdida de energía Anual	1527189,7	MJ/año
Costo de la pérdida de energía por vapor flash	¢12 146 045	Colones/año
	\$ 21 308,9	Dólares/año
Agua perdida	566,0	m3/año
	566031,1	l/año
Costo de la pérdida de agua en el flash	¢645 275	Colones/año
	\$ 1 132,1	Dólares/año
Costo de la energía perdida al ambiente	¢12 791 321	Colones/año
	\$ 22 440,9	Dólares/año

Fuente: Elaboración propia.

11.5 Sección de resumen de los tres escenarios de ahorro energético.

Tabla 24. Resumen de los tres escenarios de inversión con sus respectivos ahorros económicos.

Ahorro Anual estimado	¢27 987 324
Escenario #1	\$ 49 100,6
Ahorro Anual estimado	¢66 929 656
Escenario #2	\$ 117 420,4
Ahorro Anual estimado	¢83 894 670
Escenario #3	\$ 147 183,6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Resumen de los tres escenarios de inversión con sus respectivos ahorros energéticos anuales

Ahorro Anual estimado	3 341 480,90	MJ/Año
Escenario #1		
Ahorro Anual estimado	7 990 909,15	MJ/Año
Escenario #2		
Ahorro Anual estimado	10 016 407,26	MJ/Año
Escenario #3		

Fuente: Elaboración propia.

11.6 Determinación de los costos de implementación e indicadores financieros relacionados con cada escenario analizado.

Basados en los valores de los costos de la energía determinados, se realiza el análisis de los indicadores financieros a partir de los costos relacionados con cada compra e instalación de los equipos.

Escenario #1:

Tabla 26. Datos de servicios y equipos necesarios para desarrollar el escenario de ahorro #1

item	Descripción	Costo Estimado (\$)	Costo Estimado (¢)
1	Diagrama de tuberías e instrumentación	\$20 000,00	¢ 11 400 000,00
2	Otros servicios profesionales	\$20 000,00	¢ 11 400 000,00
3	Equipo para recuperación del vapor flash y condensado de alta presión	\$41 300,00	¢ 23 541 000,00
4	Materiales para el sistema (Tuberías, conexiones, aislamiento térmico,	\$38 500,00	¢ 21 945 000,00
5	Labores de instalación, maniobras de montaje en sitio, pruebas de calidad,	\$57 300,00	¢ 32 661 000,00
Inversión Total		\$177 100,00	¢ 100 947 000,00
Ahorro percibido anual		\$49 100,57	¢ 27 987 324,33

Fuente: Elaboración Propia con datos de (TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.)

Basados en los datos de costos de servicios profesionales y compra de equipos se procede a determinar los cálculos de los indicadores financieros para el primer escenario de inversión y ahorro energético analizado.

Tabla 27. Indicadores financieros para el escenario #1

Descripción	Dólares	Colones
Inversión inicial	\$177 100	¢ 100 947 000,00
Tasa de Descuento:	10,50%	10,50%
Tasa de Impuesto sobre la Renta	23,80%	23,80%
Periodo de devaluación	10 años	10 años
VAN	\$114 000	¢ 64 980 000,00
TIR	20,4%	20,4%
ROI	4,5	4,5

Fuente: Elaboración Propia (Excel).

Escenario #2:

Tabla 28. Datos de servicios y equipos necesarios para desarrollar el escenario de ahorro #2

	Descripción	Costo Estimado (\$)	Costo Estimado (¢)
1	Diagrama de tuberías e instrumentación	\$20 000,00	¢ 11 400 000,00
2	Otros servicios profesionales	\$20 000,00	¢ 11 400 000,00
3	Equipo para recuperación del vapor flash y condensado de alta presión	\$41 300,00	¢ 23 541 000,00
4	Cabezal de vapor de baja presión para ecualización.	\$19 650,00	¢ 11 200 500,00
5	Estación para reducción y control del vapor de baja presión	\$23 100,00	¢ 13 167 000,00
6	Equipo para calentamiento de toda el agua de planta	\$56 400,00	¢ 32 148 000,00
7	Materiales para el sistema (Tuberías, conexiones, aislamiento térmico, cobertor, estructuras, guías, patines, juntas	\$38 500,00	¢ 21 945 000,00
8	Labores de instalación, maniobras de montaje en sitio, pruebas de calidad, cumplimiento de la normativa ASME	\$57 300,00	¢ 32 661 000,00
Inversión Total		\$276 250,00	¢ 157 462 500,00
Ahorro percibido anual		\$117 420,45	¢ 66 929 655,69

Fuente: Elaboración Propia con datos de (TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.)

Basados en los datos de costos de servicios profesionales y compra de equipos se procede a determinar los cálculos de los indicadores financieros para el primer escenario de inversión y ahorro energético analizado.

Tabla 29. Indicadores financieros para el escenario #2

Descripción	Dólares	Colones
Inversión inicial	\$276 250	¢ 157 462 500,00
Tasa de Descuento:	10,50%	10,50%
Tasa de Impuesto sobre la Renta	23,80%	23,80%
Periodo de devaluación	10 años	10 años
VAN	\$366 000	¢ 208 620 000,00
TIR	32,5%	32,5%
ROI	3,0	3,0

Fuente: Elaboración Propia (Excel).

Escenario #3

Tabla 30. Datos de servicios y equipos necesarios para desarrollar el escenario de ahorro #3

item	Descripción	Costo Estimado	Costo Estimado
1	Diagrama de tuberías e instrumentación	\$20 000,00	¢11 600 000,00
2	Otros servicios profesionales	\$20 000,00	¢11 600 000,00
3	Equipo para recuperación del vapor flash y condensado de alta presión	\$41 300,00	¢23 954 000,00
4	Cabezal de vapor de baja presión para ecualización.	\$19 650,00	¢11 397 000,00
5	Estación para reducción y control del vapor de baja presión	\$23 100,00	¢13 398 000,00
6	Equipo para calentamiento de toda el agua de planta	\$56 400,00	¢32 712 000,00
7	Materiales para el sistema (Tuberías, conexiones, aislamiento térmico,	\$38 500,00	¢22 330 000,00
8	Labores de instalación, maniobras de montaje en sitio, pruebas de calidad,	\$57 300,00	¢33 234 000,00
9	Desaireador debidamente instalado en sitio y correctamente conectado.	\$78 800,00	¢45 704 000,00
Total		\$355 050,00	¢205 929 000,00
Ahorro		\$147 183,63	¢85 366 506,75

Fuente: Elaboración Propia con datos de (TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020.)

Basados en los datos de costos de servicios profesionales y compra de equipos se procede a determinar los cálculos de los indicadores financieros para el primer escenario de inversión y ahorro energético analizado.

Tabla 31. Indicadores financieros para el escenario #3

Descripción	Dólares	Colones
Inversión inicial	\$355 050	¢ 202 378 500,00
Tasa de Descuento:	10,50%	10,50%
Tasa de Impuesto sobre la Renta	23,80%	23,80%
Periodo de devaluación	10 años	10 años
VAN	\$452 000	¢ 257 640 000,00
TIR	31,7%	31,7%
ROI	3,1	3,1

Fuente: Elaboración Propia (Excel).

Ahora se toman los valores de los indicadores obtenidos y se agrupan en la siguiente tabla.

Tabla 32. Resumen de los indicadores financieros para cada escenario de ahorro analizado.

Descripción	Escenario #1		Escenario #2		Escenario #3	
	Dólares	Colones	Dólares	Colones	Dólares	Colones
Inversión inicial	\$177 100	\$100 947 000	\$276 250	\$157 462 500	\$355 050	\$202 378 500
Tasa de Descuento:	10.50%		10.50%		10.50%	
Tasa de Impuesto sobre la Renta	23,80%		23,80%		23,80%	
Periodo de devaluación	10 Años		10 Años		10 Años	
VAN	\$114 000	\$64 980 000	\$366 000	\$208 620 000	\$457 183	\$260 594 310
TIR	20,40%	20,40%	32,50%	32,50%	31,70%	31,70%
ROI	4,5	4,5	3	3	3,1	3,1

Fuente: Elaboración Propia (Excel).

Análisis del impacto ambiental.

Con este sistema de recuperación energía liberada mediante el vapor flash que se produce del condensado residual del proceso de cocción y producción de harinas del área de Rendering, se abre una oportunidad para hacer una optimización en la gestión de la energía en el área de render, área que actualmente demanda la mayor cantidad de vapor para su operación, lo que se refleja en un 77,72% del total del consumo de búnker de la planta de producción de pollo San Rafael, y al aprovechar el calor residual extraído del vapor flash, se logra optimizar el consumo de bunker en el área de calderas, actualmente el consumo de bunker en la planta, genera en promedio 750 toneladas de GEI mensuales, que aun siendo posible calcular el costo económico que implica el proceso que las genera, el cálculo económico sobre el daño a la atmosfera es difícil de calcularlo, pues el daño climático afecta todo tipo de vida e influye en la formación y desenlace de desastres naturales climatológicos alrededor de todo el planeta, poniendo en riesgo actividades como la agricultura y a civilizaciones completas.

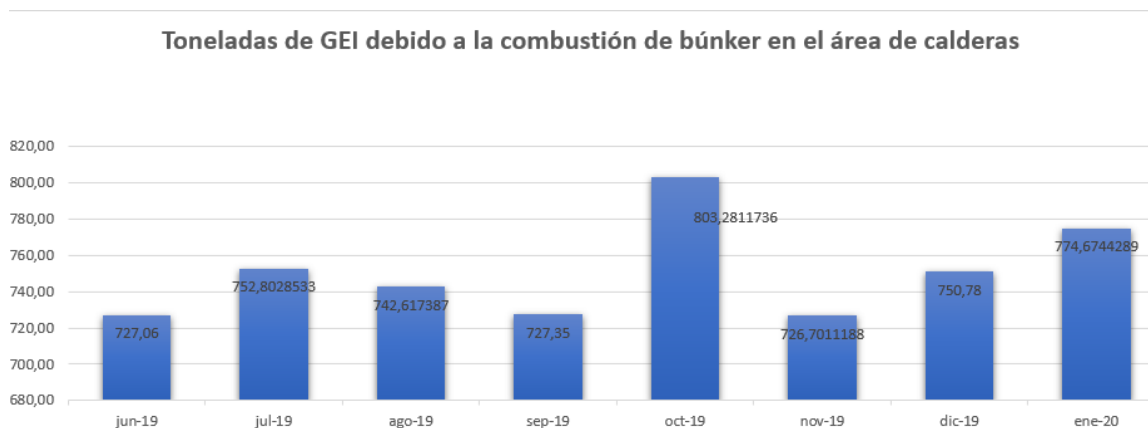


Figura 31. Emisiones de Gases de efecto invernadero totales debido a la combustión de búnker en el área de Calderas.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Producción de GEI actual en el área de calderas.

Mes	GEI Emitidos				
	Cons. Actual Búnker. (l)	Ton CO ₂ a	Ton N ₂ O a	Ton CH ₄ a	GEI Tot. Act
ene-19	251853,9	781,00	2,16	0,73	783,89
feb-19	225851,0	700,36	1,94	0,65	702,96
mar-19	227860,8	706,60	1,96	0,66	709,21
abr-19	232065,9	719,64	1,99	0,67	722,30
may-19	261017,4	809,41	2,24	0,76	812,41
jun-19	232894,8	722,21	2,00	0,67	724,88
jul-19	241142,4	747,78	2,07	0,70	750,55
ago-19	237879,7	737,66	2,04	0,69	740,40
sep-19	232989,5	722,50	2,00	0,68	725,18
oct-19	257311,9	797,92	2,21	0,75	800,88
nov-19	232781,3	721,85	2,00	0,67	724,53
dic-19	240495,1	745,78	2,06	0,70	748,54

Fuente: Elaboración propia (Excel).

Al implementar un sistema de recuperación de vapor flash que permita recolectar el calor de rechazo de los equipos del área de render, se logra reducir una importante cantidad de emisiones generadas por el consumo de combustible fósil en el área de calderas, como se muestra a continuación para cada escenario analizado de inversión.

Se puede apreciar una disminución promedio anual bajo el escenario de inversión #3 de 803,47 Ton CO₂ equivalentes emitidos a la atmosfera al implementar las mejoras en el tanque de retorno de condensados de las cocinas del área de Rendering y los equipos de integrales de calentamiento de agua con vapor en baja presión y el desaireador de alimentación de agua al sistema de calderas.

Tabla 34. GEI emitidos actualmente y GEI calculados bajo el sistema de recuperación de Vapor Flash en el escenario #3.

Escenario	Gasto (litros)	Ahorro (litros)	Emisiones GEI reducidas por año.			
			tCO2	tCH4	tNO2	tCO2 eq
Actual	297 504,92	-	-	-	-	-
Inversion #1	211 387,31	86 117,61	267,05	0,25	0,74	268,04
Inversion #2	91 560,90	205 944,02	638,63	0,60	1,77	641,00
Inversion #3	39 359,17	258 145,74	800,51	0,75	2,22	803,47

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Se estima reducir en el promedio anual 72,77 toneladas de GEI por mes emitidas al ambiente, que se evitan al recuperar la energía residual almacenada en el condensado del área de render.

Como se puede apreciar con los datos obtenidos y estimados tanto a nivel energético, ambiental, y financiero, los panoramas de inversión y ahorro tienen diferentes alcances y costos asociados lo que se traduce en riesgos, por lo que se procede a realizar un cuadro comparativo donde se analicen los tres escenarios como ayuda para determinar cuál de los tres presenta mayores beneficios y menores riesgos para Cargill como negocio.

Tabla 35. Resumen comparativo bajo diferentes enfoques para cada escenario de ahorro analizado.

Descripción	Comentarios para cada escenario		
	Escenario #1	Escenario #2	Escenario #3
Disponibilidad de espacio con la implementación del equipo requerido en el sitio	Óptima disponibilidad espacial, existe espacio vertical para instalar los elementos para presurizar el tanque actual de retorno de condensado	Óptima disponibilidad espacial tanto en el tanque de retorno de condensados como en el área de bombeo de agua caliente para instalar el nuevo equipo calentador de agua.	Buena disponibilidad espacial, ya que el equipo Desaireador debe colocarse donde está actualmente instalado el tanque de alimentación de las calderas, quedando este tanque fuera de uso.
Ahorros Energéticos	Malo: es el panorama energético con el peor desempeño de los tres analizados alcanzando a reducir un 28,94% de la energía anual que actualmente se libera en forma de vapor flash	Regular: en este panorama se obtiene una reducción de 69,22% de la energía total que actualmente se libera al ambiente en forma de vapor flash.	Bueno: se logra reducir en un 86,77% la energía total que actualmente se desperdicia en forma de vapor flash en el área de rendering.
Sobre los indicadores financieros	Representa el menor costo inicial, sin embargo presenta el mayor tiempo de retorno de inversión, y aun así, cumple con los parámetros financieros establecidos a nivel interno de Cargill.	Inversión media, y un plazo de retorno de inversión aceptable debajo de 7 años .	Representa la mayor inversión económica y los mayores ahorros anuales obtenidos, por lo cual una vez que se haya cumplido el plazo de retorno de inversión los beneficios económicos serán mayores.
Sobre temas ambientales y emisiones de gases de efecto invernadero.	Deficiente: Se captura un porcentaje inferior al 30% del total de la energía que se libera a la atmósfera actualmente	Regular: Se evita la emisión de más del 50% de GEI, pero no mayor al 80% del total de emisiones GEI	Buena: Se logra reducir más del 85% de las emisiones GEI actuales debido a la pluma de vapor flash que se emite al ambiente.

Fuente: Elaboración propia (Excel).



Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones:

Para el objetivo específico 1. Sobre estrategias de captura y aprovechamiento de la energía en el vapor flash

- El balance energético determina que el ahorro energético anual obtenido para el primer escenario es de 28,9%, para el segundo escenario es de 69,22% de ahorro y para el tercer escenario es de 86,77% en energía. Siendo el tercer escenario más eficiente que los demás escenarios analizados.
- Mediante el balance energético se concluye que a mayor producción y demanda de vapor en las cocinas del área de Rendering, el ahorro energético se ve beneficiado con el sistema de recuperación de vapor flash, lo cual está alineado con las metas de la empresa de aumentar la producción a mediano plazo

Para el objetivo específico 2. Sobre las proyecciones económicas alcanzadas para cada estrategia de aprovechamiento de la energía.

- El escenario #1 Es el que presenta una inversión menor en comparación con los otros tres escenarios de inversión, sin embargo, no es el que presenta mejores indicadores financieros, ya que su TIR, VAN son inferiores a los de los demás escenarios analizados y el ROI es superior, siendo que el período de recuperación de inversión es mayor.
- El segundo escenario de inversión presenta una tasa interna de retorno mayor, y un período de recuperación de inversión menor en 0,1 años, sin embargo, el beneficio económico percibido después de haberse retornado la inversión inicial, es mayor que en los demás escenarios.

Para el objetivo específico 3. Sobre la reducción de emisiones GEI.

- Los tres escenarios de inversión presentan mejoras en la reducción de gases de efecto invernadero en comparación con la condición de operación actual en el sistema de vapor.
- El mayor beneficio ambiental debido a la reducción de gases de efecto invernadero se obtiene bajo el escenario #3.

Para el objetivo específico 4. Proponer la estrategia de captura y aprovechamiento de la energía y agua disponible en el vapor flash mediante una comparación de ventajas y desventajas que se adecuen a las necesidades de planta.

- El escenario de ahorro #3 es superior en beneficios ambientales, energéticos y económicos, aun cuando el ROI es inferior que el ROI del escenario #3, sin embargo, a partir de haber cumplido el tiempo de retorno de inversión, el escenario #3 representa mayores beneficios económicos en comparación con los dos escenarios de inversión restantes.
- La inversión inicial de un proyecto de mejora energética, no refleja la realidad de una tecnología ni sus impactos ambientales o energéticos que benefician a un proceso productivo

Recomendaciones:

- Sin importar cual sea la estrategia seleccionada, se debe garantizar que los beneficios ambientales, financieros y operativos se mantengan y conserven durante la vida útil del equipo, por lo que se recomienda instalar un medidor de flujo que permita medir el aprovechamiento real del vapor flash y condensado recuperado en el área de calderas.
- Se recomienda establecer rutinas de mantenimiento para cada equipo nuevo instalado, que garanticen la continuidad de las operaciones para suministrar la facilidad del vapor a los diferentes procesos de producción abastecidos.
- El precio no es lo que mejor refleja la realidad de una tecnología, por lo cual se recomienda seleccionar el escenario de ahorro, tomando prioridad a los criterios ambientales y energéticos siempre que el proyecto sea viable económicamente.
- Sin importar cual sea la estrategia de captura y aprovechamiento del vapor flash bajo cualquiera de los tres escenarios analizados, se recomienda brindar una capacitación a los operarios relacionados en el área de calderas, para garantizar la correcta operación de los equipos nuevos y la seguridad de los asociados que manipulan los elementos relacionados con el sistema de vapor.
- Se recomienda desarrollar el tercer escenario de inversión para obtener mayores beneficios ambientales y energéticos durante el primer mes de operación del sistema.

Referencia Bibliográfica:

- Aguirre, F. (2018). *Emisión de gases de efecto invernadero registra máximos históricos en 2017*. La Tercera Retrieved from <https://search-proquest-com.ezproxy.itcr.ac.cr/docview/2289888871?accountid=27651>
- Armstrong International (2011). *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados. Manual N-101S. Evaluación y selección de Trama de vapor*. Armstrong International, Recuperado desde: <https://www.armstronginternational.com/files/products/traps/pdf/n101spanish.pdf>
- Taplin, Harry. (2014). *Boiler Plant and Distribution System Optimization Manual (3rd Edition)*. Fairmont Press, Inc. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpBPDSOME2/boiler-plant-distribution/boiler-plant-distribution>
- Benavides, H 2007. *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático*. Nota Técnica Del IDEAM, Recuperado desde: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Mateos, 2018. *Economía y Finanzas, Economía general*. Recuperado desde: https://www.economiafinanzas.com/economia_general/
- Woodruff & Lammers, 2017. *Steam Plant Operation*. 10th Ed. McGrawhill Education. USA.
- Dr. Lal Jayamaha. *Energy-Efficient Industrial Systems: Evaluation and Implementation. Boilers and Steam Systems, Chapter* (McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, 2016). <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259589782/chapter/chapter5>
- Reddy, C. C. S., Naidu, S. V., & Rangaiah, G. P. (2013). *Waste heat recovery methods and technologies*. *Chemical Engineering*, 120(1), 28-38. Retrieved from <https://search-proquest-com.ezproxy.itcr.ac.cr/docview/1282502754?accountid=27651>
- RECOPE (2019). *Manual de productos*.
- Romero, J. (2018). *Estudio de viabilidad financiera, ambiental y energética para la sustitución de una de las calderas de búnker por una de biomasa en la planta San Rafael de la empresa Cargill Costa Rica*. Cartago, Costa Rica. Recuperado desde: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10461/estudio_viabilidad_financiera_ambiental_energetica_sustitucion_calderas_bunker_biomasa_planta_san_rafael_empresa_cargill_costa_rica.pdf?sequence=1&isAllowed=y

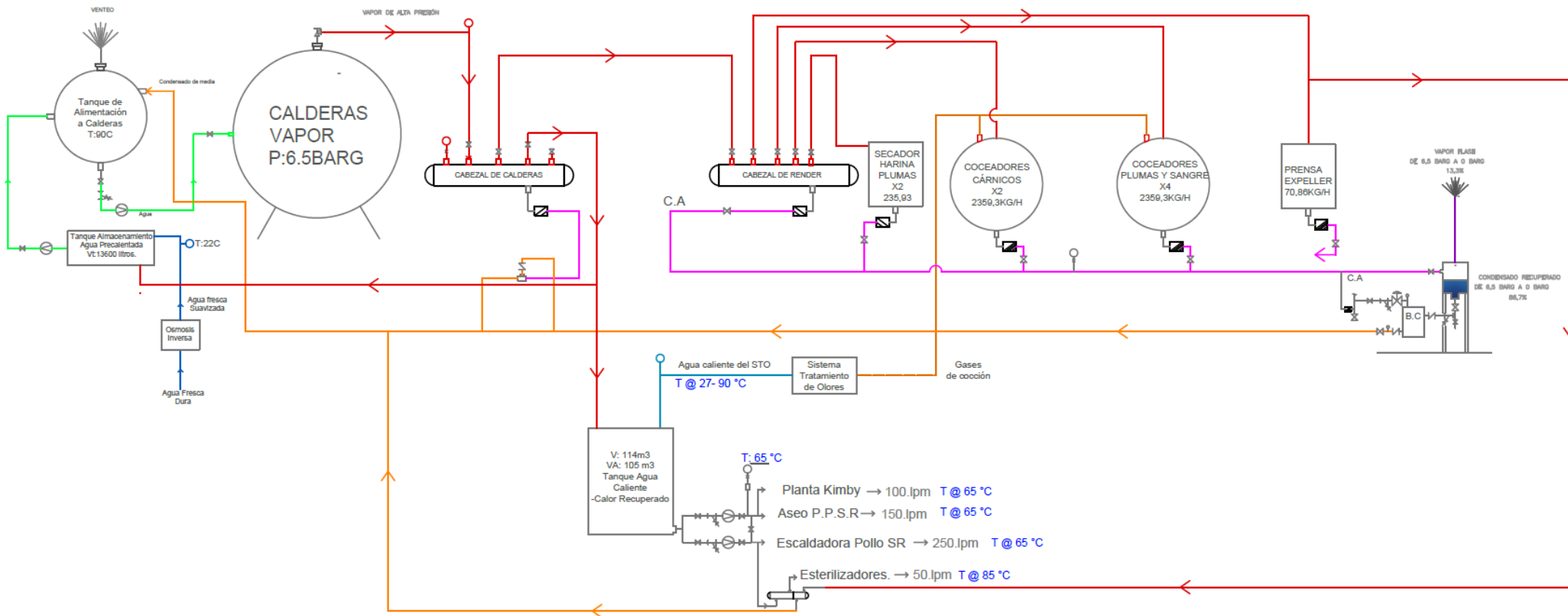
- Presidencia de la República de Costa Rica (2015). Cargill inaugura Centro de Servicios Compartidos que albergaría hasta 800 personas. Sitio Web oficial, Recuperado el 19 de octubre de 2019 desde: <https://presidencia.go.cr/comunicados/2015/06/cargill-inaugura-centro-de-servicios-compartidos-que-albergaria-hasta-800-personas/>*
- Cargill (2020). Descripción general de la compañía. Todos los derechos reservados. Sitio Web Oficial, recuperado el 19 de octubre de 2019 desde: <https://www.cargill.com.hn/es/descripci%C3%B3n-general-de-la-compa%C3%B1%C3%ADa>*
- IAEA (2019). Organismo Internacional de energía atómica. Reducción de los gases de efecto invernadero. Recuperado el 20 de octubre de 2019 desde: <https://www.iaea.org/es/temas/reduccion-de-los-gases-de-efecto-invernadero>*
- Kewanee Boiler Manual, recuperado desde: <http://www.manleysboilerinc.com/kewanee-boiler/>*
- Komiya (2019). Retorno de inversión en negocios e inversiones. Recuperado desde: <https://www.crecenegocios.com/roi/>*
- Spirax Sarco Limited, (2019). Spirax Sarco Limited All Rights Reserved Recuperado desde: <https://beta.spiraxsarco.com/global/es-PE/blog/freme-para-vapor-flash>*
- Instituto Meteorológico Nacional (2014). Factores de emisión gases efecto invernadero. Recuperado el 23 de octubre de 2019 desde : <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/factoresemision/factoresemision2014/ofiline/download.pdf>*
- Ministerio de Ambiente y Energía MINAE, (2015). VII Plan Nacional de energía 2015-2030; Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo PNUD. 1ed. San José, Costa Rica.*
- The Water Environment Federation (WEF). Operation of Water Resource Recovery Facilities, Manual of Practice No. 11, Seventh Edition (McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, 2017). <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259859366>*
- TermoEléctrica Ingeniería SRL, 2020. Informe de Ingeniería Conceptual. Planta de proceso San Rafael, Alajuela, Costa Rica. Revisión 3.*
- García, A (2017) Análisis e implementación de medidas de eficiencia energética en redes de distribución de vapor. Escuela técnica superior de ingeniería industrial. Cartagena, Colombia. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6043/tfm-garciana.pdf?sequence=1>*
- MINAE (2018) Guía para la participación en el Progrma País de Carbono Neutralidad, Dirección de Cambio Climatico (DCC)*

Espinoza, S(2010). Los proyectos de inversión. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.

TLV Corporation. (2020) A Steam Specialist Company, Steam Theory: Flash Steam, Recuperado desde: (<https://www.tlv.com/global/US/steam-theory/flash-steam.html>)

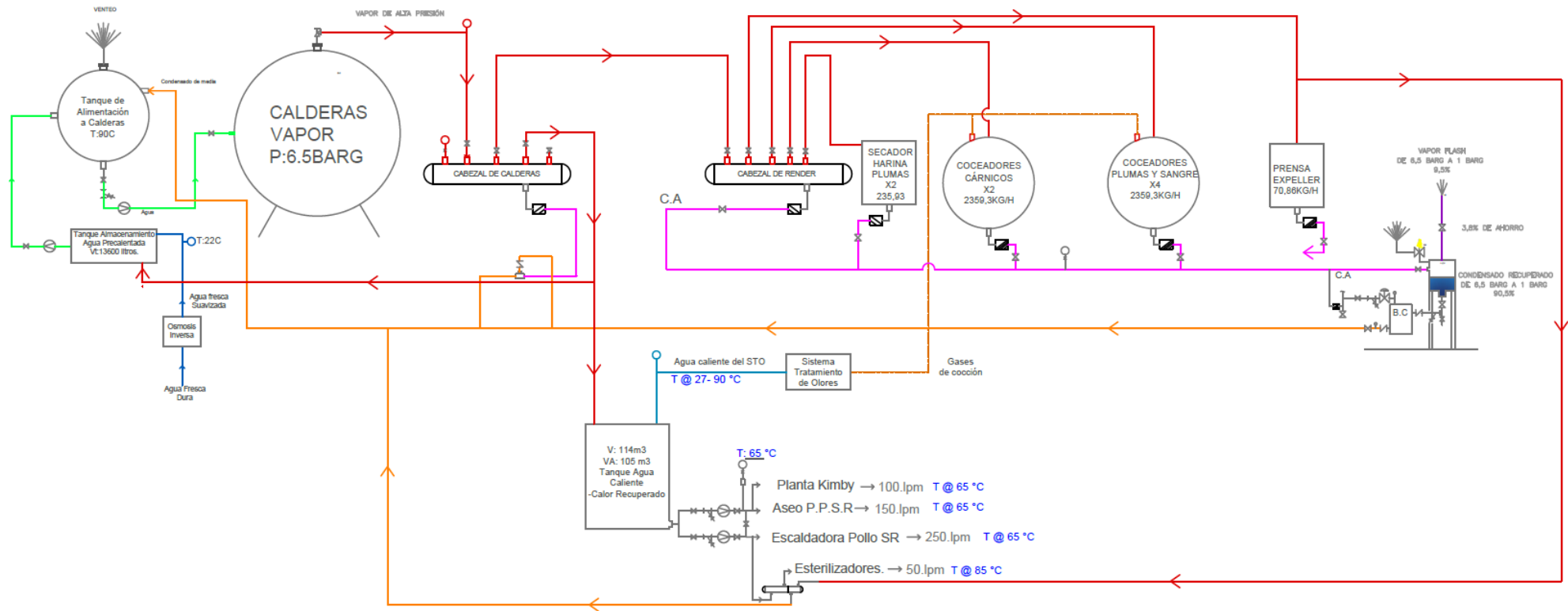
Apéndices:

Apéndice 1. Escenario Actual del Sistema de generación de vapor.



Fuente: TermoEléctrica Ingeniería, 2020.

Apéndice 2. Diagrama del Sistema de generación de vapor bajo el primer escenario de ahorro analizado presurizando el tanque de retorno de condensados de las cocinas del área del Rendering.

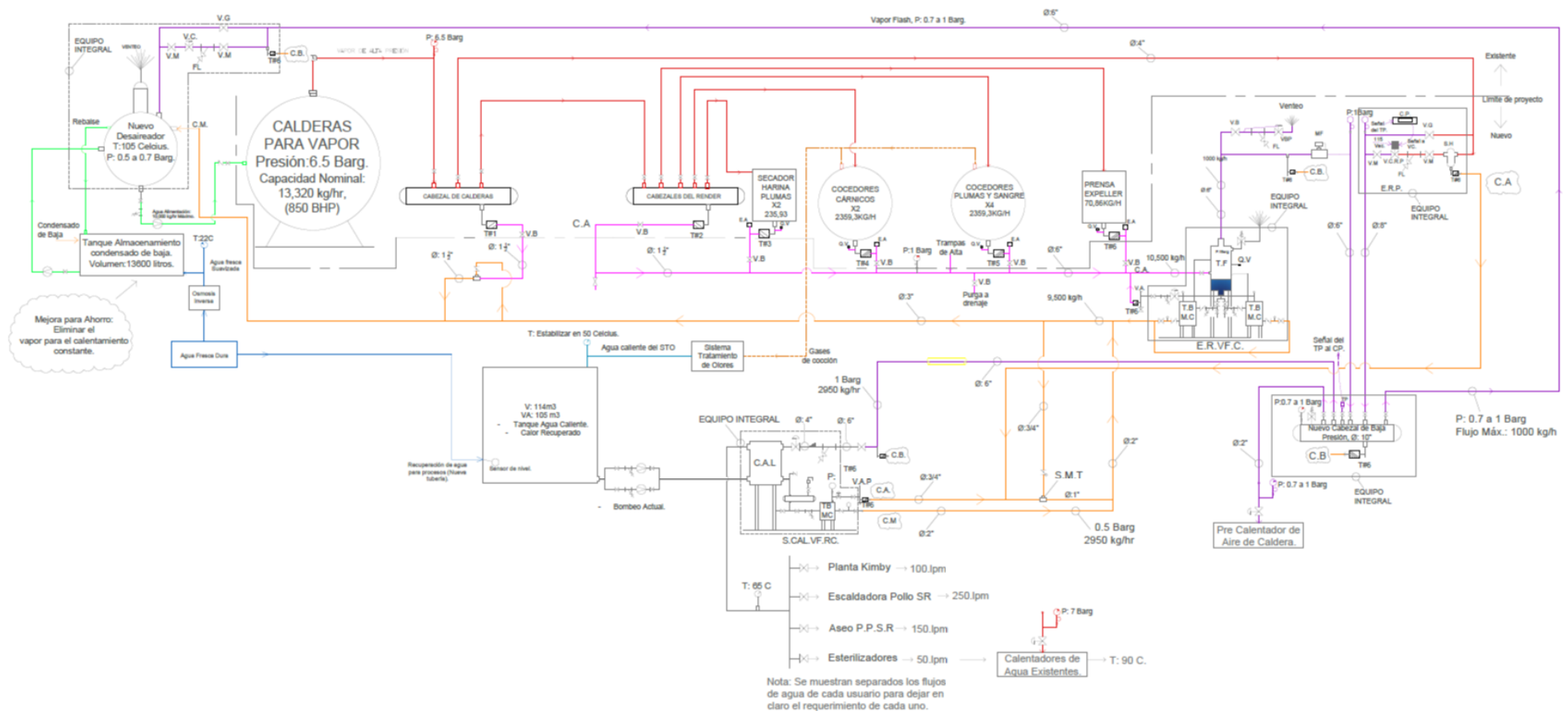


Fuente: TermoEléctrica Ingeniería, 2020.

Fuente: TermoEléctrica Ingeniería, 2020.



Apéndice 4. Diagrama del Sistema de generación de vapor bajo el tercer escenario de ahorro analizado presurizando el tanque de retorno de condensados de las cocinas del área del Rendering y aprovechando el vapor flash recolectado en un intercambiador de calor para calentar el agua que abastece la planta de producción y un sistema desaireador para alimentar el agua al sistema de vapor de la planta.



Fuente: TermoEléctrica Ingeniería, 2020

*******FIN*******